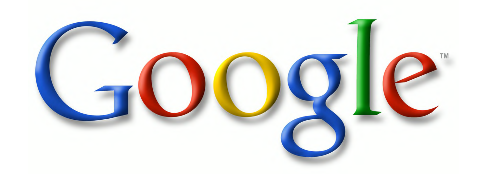


This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

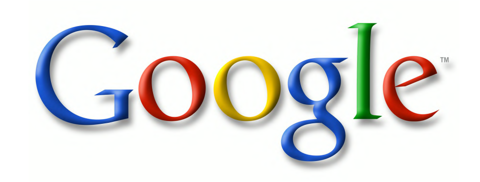
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at http://books.google.com/



A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

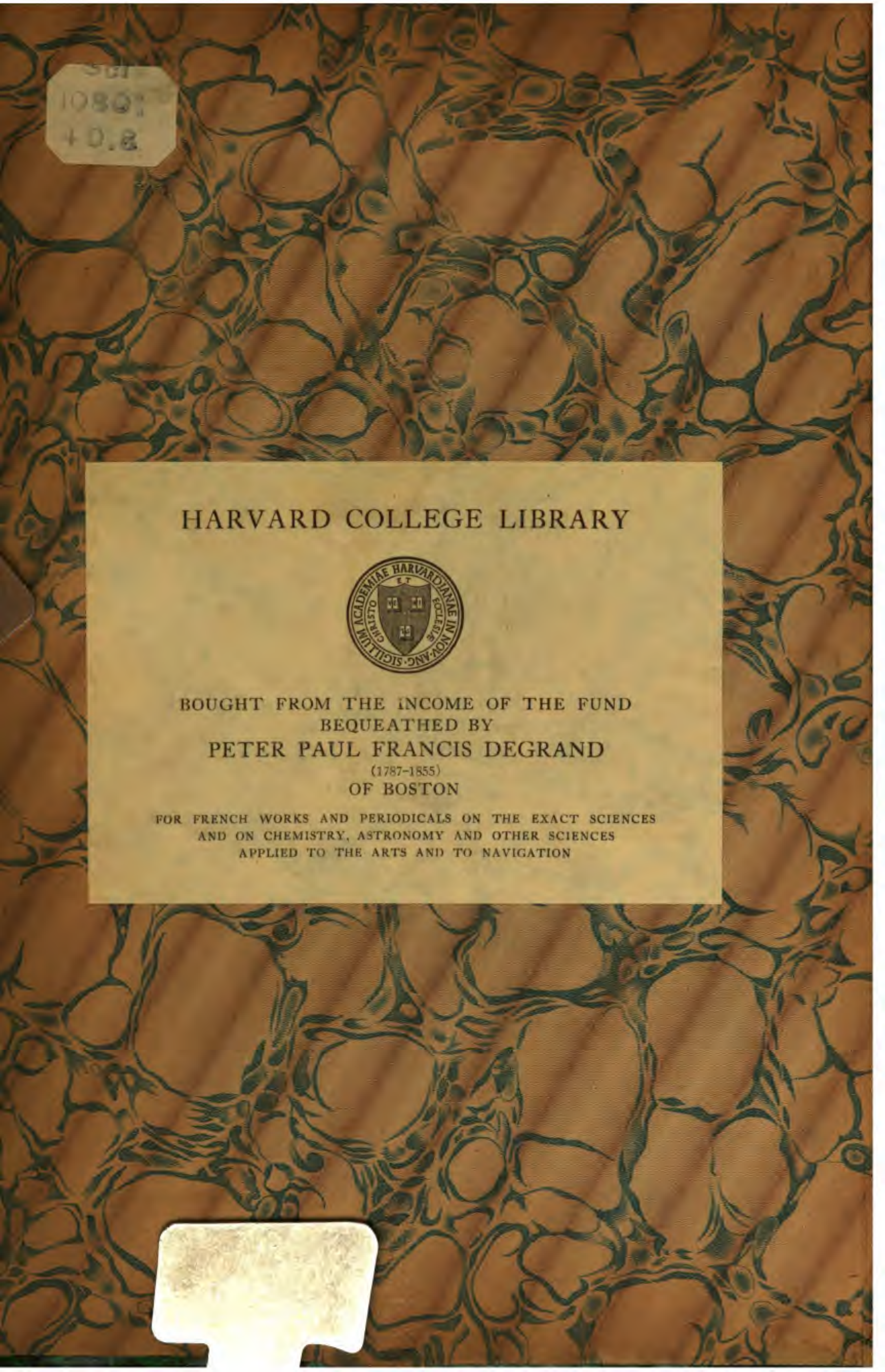
Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.
+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.
+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.
+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`



Sci 1080.40.8
HARVARD COLLEGE LIBRARY
BOUGHT FROM THE INCOME OF THE FUND
BEQUEATHED BY
PETER PAUL FRANCIS DEGRAND
(1787–1855)
OF BOSTON
FOR FRENCH WORKS AND PERIODICALS ON THE EXACT SCIENCES
AND ON CHEMISTRY, ASTRONOMY AND OTHER SCIENCES
APPLIED TO THE ARTS AND TO NAVIGATION



SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DE PHYSIQUE.

ANNÉE 1886.

PARIS. — IMPRIMERIE DE GAUTHIER-VILLARS,

12048 Quai des Augustins, 55.

SÉANCES

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

RECONNUE COMME ÉTABLISSEMENT D'UTILITÉ PUBLIQUE
PAR DÉCRET DU 15 JANVIER 1881.

ANNÉE 1886.

PARIS,
AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ,
44, RUE DE RENNES, 44.

1886

Sci 1080.4).8

HARVARD COLLEGE
MAR 12 1921
LIBRARY

Degrand fund

William Grosseteste
Ingénieur

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

SÉANCE DU 15 JANVIER 1886.

PRÉSIDENCE DE M. SEBERT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 18 décembre 1885 est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. CHAMBERT (Paul), Propriétaire à Châteauroux.
GODFRIN, Professeur au Lycée de Valenciennes.
PAILLOT, chef des travaux pratiques de Physique à la Faculté de Lille.
GOUTY, Ingénieur à Genève (Suisse).
GIRAULT, Professeur au Collège Chaptal.
VAN AUBEL (Ed.), Membre de la Société géologique de Belgique, à Liège.
MATHIAS (Émile), Agrégé préparateur à la Faculté des Sciences de Paris.
ROUX (Gaston), Préparateur à l'École de Chimie et de Physique industrielles de la ville de Paris.

M. le PRÉSIDENT déclare le scrutin ouvert pour la nomination du Vice-Président, du Vice-Secrétaire, de deux Membres pour la Commission du Bulletin et pour le renouvellement partiel du Conseil.

Sont élus :

Vice-Président : M. WOLF;
Vice-Secrétaire : M. POLLARD;
Membres de la Commission du Bulletin : MM. BOUTY et MASCART.

Sont élus Membres du Conseil pour une période de trois années :

Membres résidants.	*Membres non résidants.*
MM. BAILLE,	MM. BRILLOUIN (Toulouse),
BIENAYMÉ,	DE CHARDONNET (Besançon),
FRIEDEL,	LERMANTOFF (Saint-Pétersbourg),
PELLAT.	ROUSSEAU (Bruxelles).

M. CARPENTIER, Rapporteur, donne lecture du Rapport de la Commission des Comptes sur l'exercice de 1885.

Les conclusions du Rapport sont mises aux voix et adoptées.

M. le Président SEBERT, en l'absence de M. MAREY, Président sortant en 1886, rend compte des Travaux de la Société pendant l'année qui vient de s'écouler.

M. le SECRÉTAIRE GÉNÉRAL présente, de la part de M. Weyher, une Note relative à des expériences sur l'entraînement et la suspension de sphères par un jet d'air ou de vapeur, expériences analogues à celles qu'on produit au moyen d'un jet d'eau.

M. ROBIN présente de nouveaux arguments en faveur de la gamme résultant de la formation des quintes, et met en évidence les conséquences erronées de l'adoption de celle qui résulte de la superposition des accords parfaits. Il rappelle les travaux de Ritter, inspirés par l'enseignement de M. Chevé, ceux de MM. Mercadier et Cornu.

Il fait le dénombrement des intervalles des gammes diatonique, chromatique et enharmonique, qui, pour chacune de ces gammes, dans le système dit des *musiciens,* ne sont que de deux espèces et se succèdent en période régulière et simple, et présentent au contraire une grande complication dans le système dit des *physiciens*. Deux diagrammes résument ces considérations. L'un représente les logarithmes des vibrations des notes de la gamme enharmonique dans les gammes tempérées, des musiciens et des physiciens, l'autre les longueurs des cordes donnant ces notes.

M. Robin présente aussi un instrument qui permet d'obtenir immédiatement et très justes les gammes à comparer. Dix-huit fils de même longueur et de même poids donnent évidemment le même son. A l'aide de sillets mobiles on peut diminuer la partie vibrante de leurs cordes, conformément à l'une ou l'autre théorie. Cet instrument, dont l'accord est constant et indépendant des erreurs personnelles, permet en tout temps d'entendre et de comparer les deux gammes. M. Robin termine en parlant des gammes approchées : la gamme tempérée, celle de Vignan et celle qu'admettent la plupart des musiciens actuels dans laquelle le rapport de la seconde mineure à la majeure est $\frac{4}{9}$.

Une discussion s'engage entre MM. ROBIN, MASCART et PLOIX sur la distinction faite par MM. Cornu et Mercadier entre les intervalles *mélodiques* et les intervalles *harmoniques*. M. Louis D'HENRY rappelle que Delezenne avait fait beaucoup d'expériences sur ce sujet et qu'on trouverait dans ses écrits la réponse à plusieurs des questions qui viennent d'être soulevées.

M. VIOLLE rend compte des expériences qu'il a faites ces vacances avec M. Vautier sur la propagation du gaz dans un tuyau cylindrique, et dans lesquelles ils ont cherché à éclaircir différents points omis ou laissés en litige par Regnault, dans son beau travail sur ce sujet.

Ils ont pu utiliser une double conduite, de $0^{m},70$ de diamètre, s'étendant en ligne droite de Grenoble au pont de Claix sur une longueur L de près de $6^{km},5$. L'onde sonore a été produite au moyen de pistolets ou d'instruments de musique. Dans la Communication actuelle, il n'a été question que des expériences avec le pistolet.

Quand on tire un coup de pistolet à l'une des extrémités de la conduite, un observateur placé à cette extrémité entend un son qui se prolonge en paraissant s'éloigner et en présentant une série de roulements marqués. A l'autre extrémité, distante de $6^{km},5$, le son présente les mêmes caractères, atténués. Après 13^{km}, on entend un bruit sourd et unique, et en même temps on sent un fort coup de vent. Plus loin cette poussée de l'air est la seule chose que l'on perçoive ; elle est encore parfaitement sensible après 50^{km}.

Le tambour à levier de M. Marey confirme ces résultats : il montre que l'ébranlement sonore se fond graduellement en une onde unique, qui est sans action acoustique. Les graphiques se prêtent d'ailleurs à des mesures précises. On peut ainsi constater qu'après des parcours 0,2L, 4L, 6L, le maximum se produit $0^s,029$, $0^s,188$, $0^s,305$, $0^s,367$ après l'arrivée du front de l'onde. Ces maxima vont en décroissant suivant une formule exponentielle, évidente *à priori*, la raison du décroissement étant moindre que dans des tuyaux étroits, selon la théorie de MM. Helmholtz et Kirchhoff. Quant aux temps employés par le front de l'onde à parcourir une première, une deuxième, une troisième fois le chemin 2L, il se relève aisément par ces graphiques.

On l'a mesuré d'autre part avec les appareils mêmes de Regnault, prêtés obligeamment par M. Mascart, et l'on a trouvé ainsi dans une même séance successivement par les deux méthodes :

Premier parcours...........	$37^s,259$	et	$37^s,251$
Deuxième parcours.........	» 337		» 334
Troisième parcours.........	» 383		» 384

Il était donc probable que l'inertie des membranes, très différente d'un appareil à l'autre, était dans tous les cas très faible. L'expérience directe a montré que l'inertie ne se traduisait en effet que par une correction extrêmement petite. La vitesse de propagation paraît donc décroître en même temps que l'intensité, comme le voulait Regnault.

RAPPORT DE LA COMMISSION DES COMPTES

SUR L'EXERCICE 1885.

La Commission a reçu du Trésorier les documents et les renseignements qui lui ont permis d'établir ainsi qu'il suit la situation financière de la Société.

Recettes.

En caisse à l'ouverture de l'exercice........................	6498^{fr},75
Les cotisations ont produit pendant l'exercice.................	6537,65
Les droits d'entrée..	170,00
Les versements entiers ou partiels de souscriptions perpétuelles.	1420,00
Les intérêts du capital placé..................................	1027,35
A reporter........	15653,75

Report........	15653,75
Le remboursement d'une obligation tombée au sort...........	492,75
La vente des publications de la Société, comprenant l'achat par le Ministère de l'Instruction publique de 20 exemplaires du volume d'Ampère..........	1350,90
	17497,40

Dépenses.

	fr
Loyer du siège social..........	600,00
Traitement de l'agent de la Société (1er décembre 1884 à 1er janvier 1886)..........	1700,00
Impression et distribution des ordres du jour (novembre 1883 à juillet 1884)..........	815,70
Impression et distribution du *Bulletin* (juillet 1883 à décembre 1884)..........	3572,25
Impression et distribution de circulaires, cartes, avis.........	154,00
Abonnements aux journaux scientifiques, reliure.............	284,85
Bibliothèque circulante..........	89,95
Frais de bureau et frais divers (recouvrement des cotisations).	590,60
Frais d'expériences pour les séances..........	436,40
Séance de Pâques..........	644,10
Tome II de la collection des Mémoires..........	8019,45
Souscription au monument de M. Bertin..........	100,00
	17007,30
Excédent des recettes sur les dépenses en clôture d'exercice...	490,10

Situation.

Actif.

		Taux actuel.
50 obligations nominatives du chemin de fer du Midi achetées..........	fr 17800,20	fr 19125,00
22 obligations au porteur..........	7832,10	8415,00
Espèces en caisse..........		490,10
Cotisations à recouvrer..........		4108,00
Volumes en dépôt chez M. Gauthier-Villars (824 Coulomb; 980 Ampère). La valeur du volume a été fixée à 6fr. Minimum que peut rapporter sa vente..........		10824,00
		42962,10

Passif.

Le passif se réduit aux factures produites par M. Gauthier-Villars et non encore soldées :

	fr
Ordres du jour (juillet 1884 à juillet 1885)..........	905,70
Bulletin (janvier 1885 à juillet 1885) environ..........	1600,00
	2505,70

Statistique.

D'après les renseignements fournis par M. le Trésorier, le nombre des Membres dont le concours pécuniaire assure l'existence financière de la Société s'élève à 629, ainsi répartis :

		fr
74	Souscripteurs perpétuels entièrement libérés ayant payé......	200
6	» » » »	150
11	» » » »	100
8	» » » »	50
276	Membres résidant dans le département de la Seine et payant.	20
189	» » en province ou dans les Colonies » .	10
65	» » à l'étranger et payant....................	10

Pour se conformer aux statuts, et suivant l'avis émis par la précédente Commission des Comptes, M. le Trésorier a pris des mesures pour faire convertir en titres nominatifs dix des obligations au porteur figurant à l'actif de la Société. L'opération est en cours. Quand elle sera réalisée, le capital immobilisé, calculé au taux où les obligations ont été achetées, s'élèvera à.. 21360,25
dépassant ainsi sensiblement le chiffre des rachats des cotisations qui est de.. 18800,00

La Commission, après avoir vérifié l'état de la caisse et s'être fait présenter les pièces de comptabilité, a établi, ainsi qu'il précède, le résumé des comptes pour l'exercice 1885 et la situation au 1er janvier 1886. Elle en propose l'approbation à la Société.

Les Membres de la Commission des Comptes,

J. Carpentier, J. Duboscq, de Romilly.

ALLOCUTION DU VICE-PRÉSIDENT.

Messieurs,

En l'absence de M. Marey, je suis appelé à prendre aujourd'hui la parole pour vous présenter le résumé habituel des faits principaux qui ont marqué, pour notre Société, l'année qui vient de s'écouler.

Vous regretterez, comme moi, cette occasion d'entendre la parole sympathique de notre Président et j'espère que vous m'autoriserez à lui faire parvenir, avec l'expression de nos regrets, au

moment où il quitte ses fonctions, les vœux que nous formons pour qu'il nous revienne bientôt, avec une abondante moisson, de ces contrées favorisées du soleil où il est allé poursuivre des recherches que la mauvaise saison aurait interrompues ici.

L'année 1885, qui a fait tant de vides parmi les sommités de la Science, n'a pas épargné notre Société.

Nous avons perdu onze de nos collègues, et parmi eux figuraient aussi des savants de premier ordre.

A l'étranger, c'est Andrews dont le nom restera associé à la brillante découverte de l'existence du point critique des gaz; c'est Rosetti, le savant professeur de l'Université de Padoue; c'est Lvoff, le Secrétaire de la Société impériale polytechnique de Saint-Pétersbourg.

En France, nous rencontrons successivement les noms de Prazmowski, l'ancien Directeur de l'observatoire de Varsovie, qui était venu consacrer sa science et sa haute expérience à la construction d'instruments justement renommés; Rolland, de l'Institut, qui a jeté un si grand éclat sur la Direction des manufactures de l'État; les professeurs Duchêne et Maréchal, puis nos jeunes collègues Desquesnes et Félix Fournier, et enfin, associés dans la mort comme ils le furent un moment dans leurs travaux, Brion, l'ancien professeur du lycée Saint-Louis, et le colonel du génie Mangin.

Je n'ai pas à rappeler, devant un auditoire comme le vôtre, les mérites de ceux des physiciens dont je viens de citer les noms, qui ont acquis une juste célébrité, mais vous me pardonnerez, je pense, d'énumérer brièvement quelques-uns des titres du colonel Mangin, titres qu'une modestie exagérée et, je puis dire, une timidité extrême ont trop laissés dans l'ombre.

Je dois rappeler notamment ici la part qu'il a prise à la création de la télégraphie optique, dont l'heureuse conception est due, vous ne l'ignorez pas, à notre dévoué trésorier, M. Maurat.

Après les études faites, pendant le siège de Paris, sous la direction de M. le colonel Laussedat et auxquelles, outre MM. Maurat, Brion et Hioux, ont encore coopéré plusieurs de nos collègues, et surtout MM. Cornu et Mercadier, le colonel Mangin a eu la bonne fortune d'être appelé à présider à la création de notre matériel de télégraphie optique. Il a doté ainsi notre armée d'une ressource précieuse qui a rendu déjà de grands services dans de récentes expéditions lointaines. L'importance de cette

création peut se mesurer à l'empressement que les nations voisines ont mis à la copier.

Le colonel Mangin était préparé à cette tâche par ses recherches antérieures sur l'Optique géométrique; il avait pour cette science un penchant particulier et il a attaché encore son nom à des perfectionnements des objectifs photographiques pour la production des vues panoramiques ainsi qu'à la réalisation d'appareils de projection puissants pour l'emploi de la lumière électrique dans les opérations militaires.

Il serait trop long de rappeler tous ses travaux scientifiques, dont quelques-uns seulement ont trouvé place dans des recueils spéciaux. Je me contenterai de signaler encore le rôle qu'il a joué dans l'organisation du service de l'aérostation militaire et l'aide qu'il a apportée aux travaux qui déjà ont rendu célèbres notre jeune collègue, le capitaine Renard, et ses dévoués collaborateurs.

L'ablation d'un œil qu'il dut subir, à la suite d'une maladie causée certainement par l'action des foyers lumineux intenses dont il voulait régler l'emploi, provoqua chez lui des désordres cérébraux qui interrompirent, pour un temps, le fonctionnement de son intelligence.

Il reprit cependant possession de lui-même et put applaudir, avant sa mort, au succès éclatant de ceux dont il avait jalonné la route.

Il eut ainsi la suprême consolation que méritent ceux qui, comme lui, sont prêts à donner leur vie pour la Science et pour la Patrie.

A côté des pertes que nous déplorons, il est consolant de placer les gains qu'a faits notre Société.

Nous comptons aujourd'hui plus de 650 Membres et 39 Collègues nouveaux, dont 6 étrangers se sont joints à nous pendant l'année.

Ces nombres témoignent de la prospérité toujours croissante de notre Société; mais il ne faut pas cependant omettre de remarquer qu'ils font ressortir un ralentissement, léger il est vrai, mais persistant dans l'accroissement de notre effectif.

Toutefois, il nous est permis d'espérer encore que ce ralentissement pourra être enrayé si nous voulons bien faire tous quelques efforts pour recruter des adhérents nouveaux et faire connaître au

dehors l'existence de notre Société et les conditions de son fonctionnement.

La publication de la Collection des Mémoires relatifs à la Physique, dont l'initiative est due à notre dévoué Secrétaire général et qui se continue avec régularité, contribuera sans doute aussi, avec le temps, à ce résultat.

Suivant de près le Volume consacré aux Mémoires de Coulomb, dont nous sommes redevables à M. Potier, nous avons pu faire paraître, cette année même, le Volume consacré à la première Partie des Mémoires sur l'Électrodynamique. Ce Volume renferme les Mémoires principaux d'Arago, de Biot, de Davy, de Faraday et des deux de de La Rive, ainsi que les premiers Mémoires d'Ampère.

Le troisième Volume, qui contiendra le complément des Mémoires d'Ampère et qui est dû, comme le précédent, au zèle infatigable de M. Joubert, est déjà sous presse et un don généreux nous a permis, comme vous le savez, de mettre en mains un quatrième Volume, sans attendre le délai que nos seules ressources nous eussent obligés d'observer.

M. Wolf, le savant astronome que vos suffrages viennent d'appeler à me seconder et à me remplacer sur ce fauteuil, a bien voulu se charger de réunir, dans ce Volume, les Mémoires célèbres qui concernent la théorie du pendule et qui ont pour auteurs Borda, Bessel et Cavendish. Il se propose d'y ajouter une Notice historique qui en doublera la valeur.

Quand une Société peut se présenter avec un semblable bagage, elle possède, je le crois, une vitalité qui doit vous donner les meilleures espérances pour sa prospérité future.

Il n'est pas, du reste, besoin d'autre preuve de cette vitalité que de voir le nombre et la qualité des auditeurs qui se pressent à nos séances et d'examiner la variété et l'intérêt des Communications qui nous sont faites.

Sous ce rapport, cette année n'a pas été inférieure aux précédentes.

Nos séances n'ont pas vu apparaître quelques-unes de ces grandes découvertes qui font sensation, comme celles qui ont marqué des années qui ne sont pas encore loin de nous; mais des Communications du plus haut intérêt sont venues nous prouver que, si la Science se recueille pour ainsi dire en ce moment, c'est

pour arriver bientôt sans doute à de nouvelles conquêtes, non moins importantes que celles qui ont déjà illustré ce siècle.

Comme toujours, les Communications relatives à l'Électricité ont largement dominé.

Un grand nombre de Membres ont traité des questions de science pure, mais de non moins nombreuses Communications, concernant plus spécialement des sujets d'application, sont venues donner à nos réunions la variété désirable.

Les questions de science pure qui ont été traitées montrent une tendance marquée à pénétrer de plus en plus dans la constitution intime de la matière pour arracher à la nature les derniers secrets qui nous échappent encore.

A ce titre, je dois citer en première ligne les magistrales Communications de M. Cornu sur les raies spectrales de l'hydrogène et des métaux et sur la surface de l'onde dans un milieu influencé par l'action magnétique, celles de M. Mercadier sur la vibration des plaques circulaires minces et sur de nouveaux appareils de radiophonie, la Communication de M. Henri Becquerel sur la mesure du pouvoir rotatoire magnétique des corps en unités absolues, celles de M. Krouchkoll sur la variation de la constante capillaire à la surface de certains liquides sous l'influence d'une force électromotrice, celles encore de M. Gernez sur la surfusion cristalline du soufre, de M. Le Châtelier sur le dimorphisme de l'iodure d'argent et de M. Dufet sur la loi de Gladstone et la variation de l'indice moléculaire.

Parmi les Communications concernant la science électrique, il nous faut encore citer celle de M. Baille sur la méthode de l'amortissement pour la détermination de l'ohm, de M. Pellat sur la force électromotrice de combustion, de MM. Bouty et Foussereau sur la résistance électrique des liquides, de M. Lippmann sur la constante capillaire du mercure et la mesure du potentiel magnétique d'un système de bobines, celles enfin de MM. Mascart et Rechniewski sur différents points de la théorie des machines dynamo-électriques.

Dans l'ordre des applications de l'Électricité, nous avons vu les nouveaux téléphones de MM. Colson et Ochorowicz, les piles de MM. Guérin et West, ainsi que la machine électrique de Wimshurst. Nous avons entendu les Communications de M. d'Arsonval

sur les batteries de polarisation, de M. Lippmann sur l'entretien électrique des diapasons, de M. Clémandot sur le développement de la force coercitive par compression dans l'acier, de M. Reynier sur le foisonnement du plomb dans les accumulateurs et sur la protection du zinc dans les couples voltaïques.

Sur l'application des Sciences physiques à la Physiologie, nous avons entendu des Communications de MM. Gréhant et Quinquaud, Boudet de Pâris et Mendelsohn.

M. Cailletet nous a entretenu de son nouveau procédé de liquéfaction de l'oxygène;

M. Bouty de la conductibilité électrique des métaux à basse température;

M. Godard de la diffusion de la chaleur.

Nous avons vu, d'autre part, la nouvelle machine à faire le vide de M. de Romilly, les nouveaux hygromètres de MM. Sire et Bourbouze, les appareils pour contrôler les surfaces des lentilles de M. Léon Laurent, l'appareil pour le tracé des caustiques de M. Dybowski.

M. Violle nous a présenté le nouvel étalon de lumière de Siemens, M. Cazes nous a entretenu d'un moyen d'obtenir, par la Photographie, des épreuves stéréoscopiques exactes, et enfin notre Président nous a montré les photographies chronographiques qu'il a obtenues de la trajectoire d'un point lumineux, photographies dont la présentation nous a valu un échange d'intéressantes observations.

Cette longue énumération suffit, à elle seule, pour montrer la variété des sujets qui ont été traités dans nos séances et pour expliquer l'attrait qu'elles peuvent présenter.

Elle montre que ce n'est pas seulement les savants adonnés à la Science pure qui peuvent y trouver des sujets de méditation, mais que les physiciens portés plus spécialement vers les applications peuvent aussi y recueillir d'utiles enseignements.

Dans cet ordre d'idées, il ne faut pas oublier l'attrait particulier que présentent nos séances annuelles de Pâques où nos constructeurs rivalisent pour montrer les appareils qui représentent, dans toutes les branches de la Physique, les nouvelles conquêtes de la Science.

Cette séance a eu, cette année, son succès habituel, malgré la

redoutable concurrence qui lui était faite par l'Exposition ouverte par la Société des Électriciens dans les salles de l'Observatoire.

Nous devons remercier surtout à ce sujet MM. Sautter et Lemonnier, ainsi que MM. Weyher et Richemond, qui ont gracieusement mis à notre disposition les moyens d'éclairer brillamment les salles de la Société d'Encouragement.

Cette année, si, comme on doit l'espérer, nous pouvons mettre à contribution les nouvelles salles que cette Société prépare, nous pourrons donner aux installations de notre séance annuelle une extension qui est devenue nécessaire.

Nous pouvons espérer aussi que la construction des nouveaux locaux de la Société d'Encouragement nous permettra d'obtenir, pour nos collections de livres, une installation plus convenable qui ajoutera aux éléments de succès de notre Société.

En prenant, sous ces auspices, la présidence que vos suffrages m'ont conférée, et après avoir adressé mes souhaits de bienvenue au Vice-Président et au Secrétaire que vos votes viennent de m'adjoindre, je vous demande la permission de vous renouveler les remerciements que je vous ai déjà adressés pour l'honneur que vous me faites et qui s'applique, en même temps, à l'armée qui est représentée parmi vous par des Membres de plus en plus nombreux. J'espère que vous voudrez bien me continuer la bienveillance que vous m'avez témoignée dans les séances où j'ai dû déjà remplacer notre Président absent.

Sur la théorie de la gamme;

par M. Paul Robin.

Je suis d'abord obligé de rappeler l'origine de la gamme.

Les anciens avaient déjà déterminé les rapports $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$ des longueurs des tuyaux donnant des sons à des distances d'octave, de quinte et de quarte. Le P. Mersenne soupçonna que ces rapports indiquaient les nombres relatifs des vibrations sonores et eut la première idée des harmoniques.

Sauveur (1701) étudia ces harmoniques et commença la théorie

actuelle de la gamme complétée en 1826 par Delezenne dans le *Recueil de la Société des sciences de Lille.*

D'après cette théorie les notes de la gamme se forment en ramenant les *cinq* premiers harmoniques dans une même octave par des multiplications ou divisions par une puissance convenable de 2, et en agissant de même sur les harmoniques de ces sons considérés comme fondamentaux.

C'est la gamme qu'ont adoptée tous les Traités de Physique. Les notes y sont représentées par les rapports de vibrations

$$1, \quad \frac{9}{8}, \quad \frac{5}{4}, \quad \frac{4}{3}, \quad \frac{3}{2}, \quad \frac{5}{3}, \quad \frac{15}{8}, \quad 2.$$

Les rapports de deux de ces rapports voisins confondus avec leurs logarithmes sous le nom d'*intervalles* sont de trois sortes bizarrement appelés *ton majeur, ton mineur,* et *demi-ton*, lequel n'est moitié du premier ni du second.

Depuis plus de quarante ans, Émile Chevé, dont plusieurs de nous ont suivi les admirables leçons, et ses disciples démontrent dans leurs cours, à l'aide de deux expériences fort simples :

1° Que la gamme, telle que la chantent ceux que le *consensus populi* déclare chanter juste, ne contient que deux sortes d'intervalles, la seconde majeure et la seconde mineure;

2° Que cette dernière est plus petite que la moitié de la première.

Ces deux faits sont en contradiction avec la théorie généralement admise.

Beaucoup des élèves de M. Chevé ont cherché et trouvé sans peine la rectification nécessaire à la théorie, mais c'est Ritter qui l'a, le premier, parfaitement développée dans le tome VIII des *Mémoires de l'Institut genevois.*

Dans son travail il refait la théorie de la gamme en n'employant que les trois (ou quatre) premiers harmoniques et négligeant le cinquième qui fournit un *mi* trop bas. La superposition des quintes et la réduction d'une partie de leur série dans une même octave donne la vraie gamme, celle des musiciens, telle que l'enseigne l'école nouvelle.

Les nombres de vibrations, longueurs de cordes, etc., calculés

d'après ces données, diffèrent de la gamme des Traités de Physique pour les notes *mi, la, si*.

Nous verrons tout à l'heure si les différences parfois considérées comme négligeables le sont réellement.

Faisons d'abord quelques remarques sur le *mi* trop bas donné par le cinquième harmonique.

Comme l'établit Ritter, ce *mi*, très faible par rapport aux harmoniques précédents, et surtout au son fondamental, est dans de mauvaises conditions pour leur être comparé. De plus, si le *mi* est donné par une corde vibrante, celle-ci formant, pour donner les harmoniques précédents, une courbe à double courbure assez compliquée, est plus tendue que si elle était droite et son *mi* est plus rapproché, peut-être l'égal du vrai *mi*.

Le cinquième harmonique est nettement employé par la classe des instruments à piston; mais d'abord il est certain que ces instruments n'obéissent pas rigoureusement à la loi simple des vibrations dans les tuyaux courts relativement à leurs diamètres; on sait que l'instrumentiste peut par un certain pincement de lèvres modifier dans de petites limites la hauteur des sons, qu'avec ces instruments, prétendus à sons fixes, il y a des gens qui jouent faux, tandis que ceux qui sont réellement musiciens et n'attendent pas de leur instrument la traduction plus ou moins fidèle de la musique écrite, lisent d'abord celle-ci, savent ce que l'instrument doit donner et s'habituent à corriger ses imperfections naturelles.

C'est surtout avec les dièses et les bémols que la pratique de tous les musiciens et les indications de la théorie de Delezenne atteignent des différences telles qu'elles frappent l'oreille la moins sensible.

Rappelons d'abord les définitions si clairement données pour la première fois, en 1844, par E. Chevé, dans sa théorie musicale et généralement répétées sans indications d'origine par les solfèges publiés sans date depuis cette époque.

On appelle *dièse* d'une note son remplaçant aigu, faisant avec la note supérieure le même air que le *si* avec l'*ut*, *bémol* le remplaçant grave faisant avec la note inférieure le même effet que le *fa* avec le *mi*.

Partant de ces définitions, on trouve que les notes dites altérées sont très différentes dans les deux gammes : dans celle des physi-

ciens, le bémol d'une note est plus haut que le dièse de l'inférieure ; dans la gamme réelle, c'est le contraire.

La méthode de Chevé contient un exercice qui conduit les élèves à chanter juste : *ut*, $ré^b$, ut^d, *ré*, mi^b, etc., et l'on sent parfaitement cette série ascendante. Depuis que l'éminent théoricien et professeur a attiré l'attention sur ce point, les Traités musicaux nouveaux donnent à peu près tous le bémol plus bas que le dièse.

Mais ce n'est pas tout. D'autres physiciens, avec P. Desains, trouvent le dièse non en prenant pour point d'appui la note supérieure, le bémol non en prenant pour point d'appui la note inférieure, mais en multipliant ou divisant par $\frac{25}{24}$ le nombre des vibrations de la note à altérer, pour transformer, disent-ils, le demi-ton en ton mineur. Cela donne pour ut^d, $ré^b$, fa^d, sol^b, la^d, si^b, des valeurs très différentes de celles qu'obtiennent les physiciens suivant Delezenne.

La gamme diatonique des musiciens est produite par 7 quintes superposées et contient 5 secondes majeures, 2 mineures. La période de la succession peut être exprimée par le symbole $M_2\,m$, $M_3\,m$.

Les gammes chromatiques sont produites par 12 quintes superposées et contiennent 5 secondes chromatiques et 7 mineures. Ces intervalles se succèdent dans le même ordre dans les gammes par dièses et par bémols qui ne diffèrent que par les points de départ. La période de cette succession peut être exprimée par le symbole $(cm)_2\,m(cm)_3\,m$.

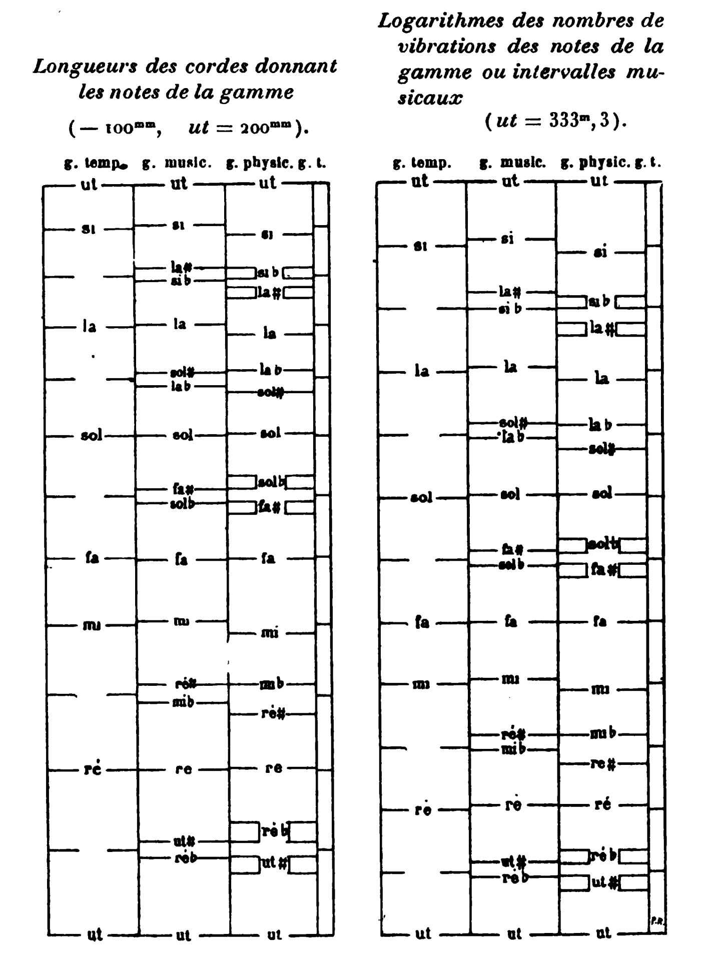
La gamme enharmonique est produite par 17 quintes superposées et contient 12 secondes mineures et 5 secondes enharmoniques (je me garde d'employer le mot *comma* auquel on a donné trop de sens différents). La période de cette succession peut être exprimée par le symbole $m(emm)_2\,m(emm)_3$.

Si l'on voulait, comme dans certains Traités, prendre plus de 17 quintes, afin d'obtenir les mi^d, si^d, ut^b et fa^b, on introduirait de nouveaux intervalles, et l'analogie obligerait à introduire tous les semblables, ce qui produirait une série nouvelle beaucoup plus complexe, sans application pratique actuelle et inutile à étudier ici.

Rien de pareil à cette simplicité dans la gamme des physiciens où chaque gamme contient un enchevêtrement de 3 à 5 intervalles

différents sans intérêt à dénombrer et à classer. Et c'est cependant la simplicité des rapports qui avait séduit ses créateurs et qui charme ceux qui l'admettent encore!

J'ai, dans un Tableau numérique, complété pour la gamme tempérée et pour celles des musiciens et des physiciens les nombres des vibrations, les longueurs de cordes et les logarithmes des nombres de vibrations, qui sont les vrais intervalles musicaux. J'ai reporté ces derniers, ainsi que les longueurs de cordes, sur le diagramme ci-joint.



Longueurs des cordes donnant les notes de la gamme

(— 100^{mm}, *ut* = 200^{mm}).

Logarithmes des nombres de vibrations des notes de la gamme ou intervalles musicaux

(*ut* = 333^{m},3).

Comparaison des diverses gammes.

	GAMME TEMPÉRÉE.			GAMME DES MUSICIENS.					GAMME DES PHYSICIENS.					
	Nombres de vibrations.	Logarithmes des vibrations ou intervalles.	Longueurs des cordes.	Nombres de vibrations.			Logarithmes des vibrations ou intervalles.	Longueurs des cordes.	Nombres de vibrations.			Logarithmes des vibrations ou intervalles.	Longueurs des cordes.	
Ut	20000	30103	50000	2	2	20000	30103	50000	2	2	20000	30103	50000	*Ut*
Si	18877	27595	52973	$\frac{3^5}{2^7}$	$\frac{243}{128}$	18984	27839	52675	$\frac{3.5}{2^3}$	$\frac{15}{8}$	18750	27300	53333	*Si*
				$\frac{3^{10}}{2^{13}}$	$\frac{59049}{32768}$	18020	25576	55493	$\frac{3^2}{3}$	$\frac{9}{5}$	18000	25527	55556	*Si*♭
La♯ *Si*♭	17818	25087	56123						$\frac{2^4}{3^2}$	$\frac{16}{9}$	17778	24988	56250	
				$\frac{2^4}{3^2}$	$\frac{16}{9}$	17778	24988	56250	$\frac{3^2.5^2}{2^7}$	$\frac{225}{128}$	17578	24497	56889	*La*♯
									$\frac{5^3}{3^2.2^3}$	$\frac{125}{72}$	17361	23957	57600	
La	16818	22578	59460	$\frac{3^3}{2^4}$	$\frac{27}{16}$	16875	22724	59259	$\frac{5}{3}$	$\frac{5}{3}$	16667	22186	60000	*La*
Sol♯ *La*♭	15874	20068	62996	$\frac{3^8}{2^{12}}$	$\frac{6561}{4096}$	16018	20461	62430	$\frac{2^3}{5}$	$\frac{8}{5}$	16000	20412	62500	*La*♭
				$\frac{2^7}{3^4}$	$\frac{128}{81}$	15802	19872	63280	$\frac{5^2}{2^4}$	$\frac{25}{16}$	15625	19382	64000	*Sol*♯

Sol	14983	17560	66742	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}$	15000	17609	66667	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}$	15000	17609	66667	*Sol*
Fa^d *Sol*^{b}	14142	15051	70710	$\frac{3^6}{2^9}$	$\frac{729}{512}$	14238	15345	70233	$\frac{2^2.3^2}{5^2}$	$\frac{36}{25}$	14400	15836	69444	*Sol*^{b}
									$\frac{2^6}{3^2.5}$	$\frac{64}{45}$	14222	15293	70313	
				$\frac{2^{10}}{3^6}$	$\frac{1024}{729}$	14047	14758	71182	$\frac{3^2.5}{2^5}$	$\frac{45}{32}$	14063	14808	71111	*Fa*^{d}
									$\frac{5^2}{2.3^2}$	$\frac{25}{18}$	13889	14267	72000	
Fa	13348	12543	74915	$\frac{2^2}{3}$	$\frac{4}{3}$	13333	12493	75000	$\frac{2^2}{3}$	$\frac{4}{3}$	13333	12493	75000	*Fa*
Mi	12599	10034	79370	$\frac{3^4}{2^6}$	$\frac{81}{64}$	12656	10230	79012	$\frac{5}{2^2}$	$\frac{5}{4}$	12500	09791	80000	*Mi*
Ré^d *Mi*^{b}	11892	07526	84090	$\frac{3^9}{2^{14}}$	$\frac{19683}{16384}$	12014	07969	83280	$\frac{2.3}{5}$	$\frac{6}{5}$	12000	07918	83333	*Mi*^{b}
				$\frac{2^5}{3^3}$	$\frac{32}{27}$	11852	07379	84375	$\frac{3.5^2}{2^6}$	$\frac{75}{64}$	11719	06889	85333	*Ré*^{d}
Ré	11225	05017	89090	$\frac{3^2}{2^3}$	$\frac{9}{8}$	11250	05115	88889	$\frac{3^2}{2^3}$	$\frac{9}{8}$	11250	05115	88889	*Ré*
Ut^d *Ré*^{b}	10595	02509	94387	$\frac{3^7}{2^{11}}$	$\frac{2187}{2048}$	10679	02852	93644	$\frac{3^3}{5^2}$	$\frac{27}{25}$	10800	03342	92593	*Ré*^{b}
									$\frac{2^4}{3.5}$	$\frac{16}{15}$	10667	02800	93750	
				$\frac{2^8}{3^5}$	$\frac{256}{243}$	10535	02263	94922	$\frac{3^3.5}{2^7}$	$\frac{135}{128}$	10547	02313	94815	*Ut*^{d}
									$\frac{5^2}{2^3.3}$	$\frac{25}{24}$	10417	01774	96000	
Ut	10000	00000	100000	1	1	10000	00000	100000	1	1	10000	00000	100000	*Ut*

Dans le Tableau logarithmique des intervalles j'ai pris pour unité 333^{m},3. La corde entière pour le Tableau des longueurs est $\frac{1}{3}$ de mètre.

Voici les remarques auxquelles donne lieu le simple examen de l'un ou de l'autre de ces Tableaux :

1° La gamme tempérée, dont la pratique est imposée par les instruments à sons fixes, diffère beaucoup moins de la gamme des musiciens que de celle des physiciens.

2° Les différences entre les gammes des physiciens et celle des musiciens, très notables pour *mi, la, si*, et pour presque toutes les notes altérées, s'exagèrent surtout pour *ré^{d}, sol^{d}, la^{d}* et atteignent presque un demi-ton.

Les vérifications expérimentales de la justesse de la seule gamme des musiciens n'ont pas manqué. Ritter cite les expériences faites en 1857 par le Dr Möhring et le violoniste Meyer. Le physicien marquait sur la touche du violon les places où le virtuose mettait ses doigts. Les mesures prises *ensuite* donnent à moins d'un demi-centième les longueurs indiquées par la théorie nouvelle.

MM. Mercadier et Cornu ont transmis les vibrations du violon de Léonard à un appareil inscripteur et sont arrivés sensiblement pour la mélodie aux nombres donnés par la théorie.

Je regrette qu'ils soient arrivés pour l'harmonie à des conclusions différentes; il doit y avoir eu quelque erreur d'opération. L'harmonie est en effet produite par des mélodies simultanées et je ne puis comprendre que des chanteurs, des violonistes produisant juste leur partie isolée, la modifient quand leurs partenaires chantent ou jouent avec eux.

Ce dernier point réservé et à revoir selon moi, ces deux séries expériences précédentes sont excellentes, en ce qu'elles écartent tout préjugé de l'opérateur. J'ai pensé cependant qu'une vérification *a posteriori* accessible à tous serait bienvenue.

Je présente un appareil contenant 18 fils métalliques de même diamètre (n° 26), de même longueur (333^{mm},3), tendus par le même poids arbitraire (684^{gr}). Ils donnent évidemment le même son. Deux sillets mobiles peuvent être placés au-dessous et réduisent es longueurs vibrantes des fils, l'un aux dimensions données par

l'ancienne théorie, l'autre aux dimensions données par la nouvelle. On a ainsi une petite harpe dont l'accord reste constant et indépendant des erreurs individuelles. Chacun peut en jouer avec l'un ou l'autre sillet et comparer les effets musicaux produits.

J'ajouterai, pour terminer, quelques mots sur les gammes approchées.

La gamme tempérée, à tempérament égal, produite par l'intercalation de 11 moyens géométriques entre 1 et 2, donne généralement une très bonne approximation, excepté pour *ré*^{d} et *la*^{d}.

Aimé Paris professait dans ses cours que la seconde majeure valait $2\frac{1}{2}$ secondes mineures et faisait une expérience qui le démontrait avec assez d'approximation. M. Vignon, l'un de ses élèves, publia vers 1860 le calcul complet, d'après cette hypothèse, d'une gamme approchée formée par l'intercalation de 28 moyens géométriques entre 1 et 2.

Si l'on calcule les réduites successives du rapport $\frac{5115}{2263}$ de la seconde majeure à la mineure, on trouve

$$2,\ \frac{7}{3},\ \frac{9}{4},\ \ldots$$

Sans que l'origine en ait été précédemment indiquée à ma connaissance, la gamme approchée donnée par cette dernière réduite, qui répond aux oreilles les plus exigeantes, est adoptée par un grand nombre de musiciens. M. Pauraux, inspecteur du chant de la Ville de Paris, en a fait le point de départ d'un appareil ingénieux que l'on peut voir au Musée pédagogique et qui matérialise parfaitement la théorie des gammes des divers tons.

Sur la propagation du son dans un tuyau cylindrique.

Note de MM. Violle et Vautier.

Au mois de septembre dernier, la municipalité de Grenoble ayant bien voulu mettre à notre disposition la conduite souterraine destinée à amener dans la ville les eaux de Rochefort, nous avons profité de cette occasion pour reprendre l'étude de la propagation du son dans un tuyau cylindrique, en considérant particulièrement

les points omis ou laissés en litige par Regnault dans son beau travail sur ce sujet.

La portion de la conduite que nous avons utilisée se compose de deux tuyaux parallèles de $0^m,70$ de diamètre, présentant en ligne droite une longueur L de $6^{km},350$ environ. Ces deux tuyaux pouvaient être employés isolément, ouverts ou fermés; on pouvait aussi les réunir à leurs extrémités par un coude demi-circulaire de même diamètre intérieur que les tuyaux et de 70^{cm} de rayon.

M. Mascart avait eu la bonté de nous prêter les appareils qui avaient servi autrefois à Regnault. Nous les avons utilisés sans y changer autre chose que les membranes, que nous avons prises beaucoup plus minces et plus sensibles. Nous avons aussi employé avantageusement les tambours manométriques de M. Marey. Enfin l'oreille nous a permis diverses constatations.

L'onde sonore a été produite au moyen de pistolets ou d'instruments de musique. Nous nous bornerons aujourd'hui à indiquer les principaux résultats obtenus avec le pistolet.

Quand on tire un coup de pistolet à l'une des extrémités de la conduite, un observateur placé à cette extrémité entend un son qui se prolonge en paraissant s'éloigner et en présentant une série de roulements marqués. Au bout de $18^s,6$ le son parvient au coude, où il présente les mêmes caractères, atténués : c'est, pour l'oreille, à l'intensité près, comme un train qui, arrivant brusquement par l'une des branches, s'engouffrerait dans l'autre. Après $37^s,3$, le son a parcouru $12^{km},700$: il est encore très nettement perceptible à l'oreille, qui entend un bruit sourd et en apparence unique, semblable à celui d'une détonation lointaine en plein air; en même temps qu'on perçoit le son, on sent un fort coup de vent. Plus loin, cette poussée d'air est la seule chose que l'on perçoive : elle est encore parfaitement sensible après 50^{km}. L'énergie de la poussée est supérieure à celle de la plupart des sons musicaux que l'oreille perçoit sans peine, et cependant on n'entend plus absolument rien.

Si l'on substitue à l'oreille un tambour à levier de M. Marey et qu'on inscrive les mouvements du levier en même temps que ceux d'un diapason chronométrique ($ut_3 = 256^{vd}$), on obtient pour chacune des distances 0, 2L, 4L, 6L la courbe des pressions de l'air. A la station de départ, la courbe monte brusquement jusqu'à

une certaine hauteur, à partir de laquelle elle s'abaisse en présentant une série d'oscillations d'amplitude décroissante, et ce n'est qu'au bout de deux secondes environ que le calme est complètement rétabli au lieu de départ. A la distance de 2L, la courbe, après s'être élevée rapidement à une certaine hauteur (sensiblement moindre qu'au départ), redescend, presque sans oscillations, et regagne lentement le niveau primitif. Aux distances 4L et 6L, la courbe, tout en s'aplatissant de plus en plus, conserve le même aspect général, les oscillations disparaissant complètement.

Ces faits sont d'accord avec ceux qu'a révélés l'oreille : l'ébranlement sonore se fond graduellement en une seule onde sans action acoustique.

Les graphiques se prêtent d'ailleurs à des mesures précises. On peut relever les temps au $\frac{1}{2560}$ de seconde et les pressions au $\frac{1}{10}$ de millimètre (au moyen d'expériences spéciales, on a déterminé en millimètres d'eau les pressions correspondant aux différents écarts du levier). On a trouvé ainsi :

Chemin parcouru.	Temps employé.	Époque du maximum.	Grandeur du maximum.	Longueur de l'onde.
	s	s	mm	s
0.......	0	0,029	15,8	2,25
2L......	T' = 37,259	T' + 0,188	6,6	2,8
4L......	T'' = T' + 37,337	T'' + 0,305	1,8	3
6L......	T''' = T'' + 37,383	T''' + 0,367	0,6	»

On voit que le maximum recule à l'intérieur de l'onde, tandis que celle-ci progresse.

La longueur totale de l'onde ne varie pas beaucoup ; les chiffres inscrits au Tableau ne doivent être regardés que comme approximatifs, à cause de la difficulté de juger de la fin de l'onde.

Les pressions décroissent sensiblement en progression géométrique, les chemins croissant en progression arithmétique. Si, en effet, on suppose que chaque parcours 2L (y compris la réflexion qui le termine) réduit la pression au $\frac{1}{3}$ de sa valeur, on a la série 16,2, 5,4, 1,8, 0,6, qui diffère peu des nombres observés, le premier de ces nombres 15,8 n'étant pas très sûr, et le deuxième 6,6 devant être multiplié par un coefficient $r < 1$. L'amplitude du mouvement vibratoire peut donc être représentée par $ae^{-\alpha x}$,

le coefficient α différant peu de celui que donne l'équation

$$e^{-\alpha 12700} = \frac{1}{3},$$

d'où

$$\alpha = 8,62.10^{-5}.$$

D'après MM. von Helmholtz et Kirchhoff, on doit avoir, en effet,

$$a' = ae^{-\alpha x},$$

α étant égal à $\gamma \frac{\sqrt{\pi n}}{ar}$, ce qui donne ici

$$\alpha = 8,31.10^{-4}.$$

L'affaiblissement observé (même accru de l'effet de la réflexion au bout du chemin 2 L) est donc moindre que l'affaiblissement théorique dans un tuyau étroit.

Si nous considérons enfin les temps employés par le front de l'onde à parcourir une première, une deuxième, une troisième fois le chemin 2 L, nous pouvons les comparer aux temps mesurés dans les mêmes circonstances au chronographe Regnault, avec une membrane extrêmement sensible, à contact électrique. Nous avons ainsi :

	Temps mesuré avec	
	le tambour à levier.	la membrane à contact.
Premier parcours	37^s,259	37^s,251
Deuxième parcours	» 337	» 334
Troisième parcours	» 383	» 384

L'accord entre les nombres obtenus par les deux procédés montre que la grandeur et la disposition de la membrane flexible n'ont aucune influence appréciable, quand on emploie des membranes suffisamment sensibles. Il était dès lors probable que l'inertie de ces membranes était très faible. L'expérience directe a montré, en effet, que l'influence de l'inertie est, dans tous les cas, inférieure à 0^s,01 ; et comme, dans les mesures de temps, la différence des retards entre seule, la correction à effectuer est très petite. La vitesse de propagation paraît donc décroître en même temps que l'intensité. Nous reviendrons sur ce point dans une prochaine Communication.

SÉANCE DU 5 FÉVRIER 1886.

PRÉSIDENCE DE M. SEBERT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 15 janvier est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. Chervet, Professeur au lycée Henri IV.
Joubin, agrégé-préparateur au Collège de France.
Meslin, Professeur de Physique au lycée de Poitiers.
Noë (Charles), Constructeur d'instruments de Physique à Paris.
Philippon (Paul), Répétiteur au Laboratoire d'Enseignement à la Sorbonne.
Villars, Professeur au lycée de Bordeaux.

M. le Président déclare qu'il y a lieu de nommer un membre du Conseil en remplacement de M. Wolf, élu vice-Président. M. Cael est élu membre du Conseil pour l'année 1886.

M. le Président annonce l'offre faite par M. Janssen d'une somme de 50 francs pour aider à la publication des Mémoires. Il remercie, au nom de la Société, M. Janssen de sa généreuse initiative et exprime l'espoir que son exemple trouvera des imitateurs.

M. Lodge, professeur à Liverpool, a imaginé, il y a quelques mois, des expériences pour démontrer les effets inattendus d'une décharge électrique de haute tension, produite par les machines électriques de Tœpler-Voss, sur des poussières et des fumées de toute nature mises en suspension dans un récipient. Ces expériences ont trouvé leur application immédiate dans l'industrie métallurgique en Angleterre, pour la condensation des fumées et des poussières de plomb. MM. Walker, Parker et Cie se servent de ce procédé dans leur usine.

M. Hempel présente un appareil de démonstration extrêmement simple, permettant de répéter dans un cours ces nouvelles expériences. Un récipient en verre, percé latéralement pour le passage des peignes qui laissent écouler l'électricité, est placé sur un socle en bois à trois pieds et muni d'une ouverture centrale. Au-dessous du socle se trouve une cheminée en tôle pour la production d'une fumée quelconque; le récipient est surmonté, en outre, d'un petit tuyau pour activer le tirage.

Pour faire l'expérience, on met en communication les deux peignes du récipient par des fils conducteurs d'une machine Tœpler-Voss, ou bien encore avec les deux pôles d'une bonne machine à frottement.

On introduit dans la cheminée du papier nitré ou de l'amadou allumée, de la fumée de tabac ou bien encore des vapeurs de composés chimiques, chlorhydrate d'ammoniaque, etc. Cette fumée monte dans un récipient, et

lorsqu'il en est entièrement rempli, on met la machine électrique en action; immédiatement après, la fumée se met à tourbillonner, se condense et disparaît complètement.

L'expérience est répétée devant la Société.

M. D'ARSONVAL expose une méthode optique pour la mesure des faibles déviations angulaires.

Ce procédé est surtout applicable aux appareils de mesure électrique. Il consiste essentiellement à renverser le procédé ordinaire de lecture avec la lunette et le miroir plan (procédé de Weber ou de Poggendorff).

Au foyer conjugué de l'objectif qui donne d'habitude l'image de l'échelle plus petite que l'objet, M. d'Arsonval place une échelle transparente photographiée divisée en dixièmes et vingtièmes de millimètre. L'objectif de la lunette donne une image agrandie de cette échelle, image qui, après avoir été réfléchie par le miroir du galvanomètre, vient se former au-dessus de cet objectif. On l'observe et on l'agrandit encore en l'examinant avec l'oculaire, qui porte comme d'habitude un réticule servant de repère.

Au lieu d'un miroir plan, difficile à obtenir, M. d'Arsonval emploie pour le galvanomètre un miroir concave à long foyer. Pour éviter la double image, le miroir n'est pas à faces parallèles; le rayon de courbure de la face antérieure est plus petit que celui de la face postérieure, qui seule est argentée. On obtient ainsi des images d'une netteté et d'une pureté parfaites.

Le tout a été disposé par M. Lutz sur un pied, de façon à pouvoir transformer instantanément l'appareil soit en une échelle transparente Carpentier, soit en une lunette Poggendorff.

On a ainsi réuni dans le même appareil tous les procédés de lecture à l'aide de l'échelle et du miroir.

M. d'Arsonval présente ensuite des dispositifs galvanométriques nouveaux.

Le premier dispositif a pour but de parer au déplacement du zéro du galvanomètre sous l'influence du magnétisme terrestre.

Pour arriver à ce résultat, M. d'Arsonval place à $0^{m},50$ environ du miroir du galvanomètre un second miroir porté lui-même sur une aiguille aimantée mobile autour d'un fil de cocon. Les surfaces réfléchissantes des miroirs sont en face l'une de l'autre. On observe l'image de l'échelle divisée après qu'elle s'est réfléchie sur les deux miroirs.

Les variations du magnétisme terrestre affectent également les deux miroirs et les font tourner du même angle. Or, par suite de leur disposition même, la déviation du rayon lumineux se trouve annulée si les miroirs tournent du même angle.

L'appareil ne peut donc être affecté que par la rotation du miroir du galvanomètre sous l'influence d'un courant, c'est-à-dire précisément par la déviation qu'il s'agit de mesurer. On a ainsi un zéro fixe, à la condition, bien entendu, de se servir de la boussole des tangentes, c'est-à-dire d'un galvanomètre non compensé.

Sol	14983	17560	66742	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}$	15000	17609	66667	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}$	15000	17609	66667	*Sol*
				$\frac{3^6}{2^9}$	$\frac{729}{512}$	14238	15345	70233	$\frac{2^2.3^2}{5^2}$	$\frac{36}{25}$	14400	15836	69444	*Sol*^{b}
Fa^d *Sol*^{b}	14142	15051	70710						$\frac{2^6}{3^2.5}$	$\frac{64}{45}$	14222	15293	70313	
				$\frac{2^{10}}{3^6}$	$\frac{1024}{729}$	14047	14758	71182	$\frac{3^2.5}{2^5}$	$\frac{45}{32}$	14063	14808	71111	*Fa*^{d}
									$\frac{5^2}{2.3^2}$	$\frac{25}{18}$	13889	14267	72000	
Fa	13348	12543	74915	$\frac{2^2}{3}$	$\frac{4}{3}$	13333	12493	75000	$\frac{2^2}{3}$	$\frac{4}{3}$	13333	12493	75000	*Fa*
Mi	12599	10034	79370	$\frac{3^4}{2^6}$	$\frac{81}{64}$	12656	10230	79012	$\frac{5}{2^2}$	$\frac{5}{4}$	12500	09791	80000	*Mi*
Ré^d *Mi*^{b}	11892	07526	84090	$\frac{3^9}{2^{14}}$	$\frac{19683}{16384}$	12014	07969	83280	$\frac{2.3}{5}$	$\frac{6}{5}$	12000	07918	83333	*Mi*^{b}
				$\frac{2^5}{3^3}$	$\frac{32}{27}$	11852	07379	84375	$\frac{3.5^2}{2^6}$	$\frac{75}{64}$	11719	06889	85333	*Ré*^{d}
Ré	11225	05017	89090	$\frac{3^2}{2^3}$	$\frac{9}{8}$	11250	05115	88889	$\frac{3^2}{2^3}$	$\frac{9}{8}$	11250	05115	88889	*Ré*
				$\frac{3^7}{2^{11}}$	$\frac{2187}{2048}$	10679	02852	93644	$\frac{3^3}{5^2}$	$\frac{27}{25}$	10800	03342	92593	*Re*^{b}
Ut^d *Re*^{b}	10595	02509	94387						$\frac{2^4}{3.5}$	$\frac{16}{15}$	10667	02800	93750	
				$\frac{2^8}{3^5}$	$\frac{256}{243}$	10535	02263	94922	$\frac{3^2.5}{2^7}$	$\frac{135}{128}$	10547	02313	94815	*Ut*^{d}
									$\frac{5^2}{2^3.3}$	$\frac{25}{24}$	10417	01774	96000	
Ut	10000	00000	100000	1	1	10000	00000	100000	1	1	10000	00000	100000	*Ut*

M. Cornu, au sujet de la Communication de M. d'Arsonval, signale l'importance que présente pour la facilité de la lecture d'une échelle l'écartement angulaire des divisions. Il y a lieu, pour chaque observateur particulier, de choisir expérimentalement l'espacement à donner aux traits pour se trouver dans les conditions les plus favorables.

M. P. Barbier présente une nouvelle disposition de téléphone à laquelle il donne le nom de *bouton-téléphone*.

Elle permet de remplacer, dans une installation ordinaire de sonneries électriques, les boutons d'appel par des boutons téléphones et, en même temps que l'on sonne quelqu'un, d'entrer en conversation avec la personne sonnée.

Galvanomètres apériodiques de grande sensibilité;

par M. d'Arsonval.

Les différents appareils que je vais décrire ont été combinés pour l'étude de l'électricité et de la chaleur d'origine animale. Pour ce genre de recherches, il faut des appareils d'une extrême sensibilité et leurs indications doivent en même temps être très rapides; ils peuvent donc être d'un usage général en électrométrie.

Tout appareil électrométrique se compose de deux parties distinctes : 1° le galvanomètre proprement dit; 2° l'appareil qui sert à mesurer la déviation angulaire du galvanomètre.

Échelle micrométrique pour la mesure des déviations angulaires.

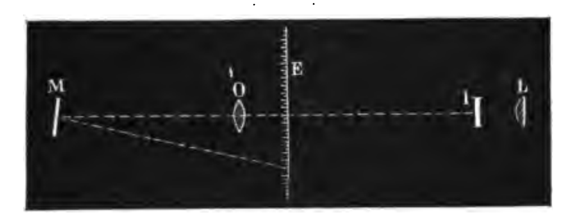
Cet appareil permet de mesurer avec une grande précision les plus faibles déviations angulaires. C'est là un double avantage : 1° parce que les indications sont beaucoup plus rapides et 2° parce que les déviations sont proportionnelles aux intensités.

La méthode la plus précise et la plus généralement employée est celle de la lunette et du miroir ou méthode de Poggendorff.

Ce procédé consiste, on le sait, à fixer un miroir plan M (*fig.* 1) à la partie mobile du galvanomètre et à viser l'image d'une échelle divisée E à travers une lunette dont O est l'objectif et L l'oculaire. On obtient ainsi au foyer conjugué de la lentille O une image réelle I plus petite que l'objet, on grossit cette image par l'oculaire L qui porte un réticule vertical servant de repère pour le

pointage. La sensibilité devrait être proportionnelle à la distance OM qui sépare l'échelle du miroir; il n'en est pas ainsi dans la pratique, parce que l'image I devient de plus en plus petite quand la distance OM augmente. Il faudrait, pour réaliser cette condition, que le grossissement de l'oculaire L augmentât proportionnellement à

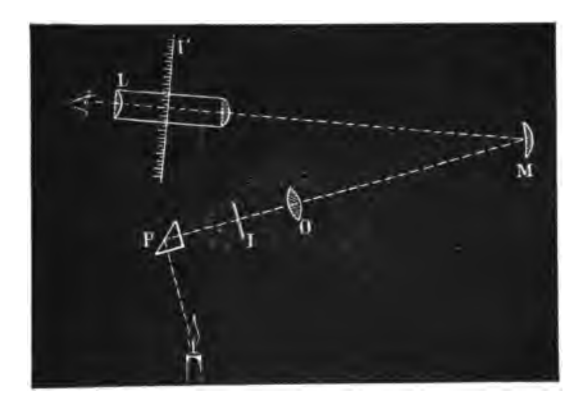
Fig. 1.



la distance OM. Mais alors l'image devient confuse, parce qu'il est très difficile d'obtenir un miroir léger parfaitement plan.

Pour supprimer le défaut, j'ai renversé le problème; en I je mets une échelle transparente photographiée sur verre et divisée en vingtièmes de millimètre (*fig.* 2). Cette échelle est éclairée par

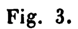
Fig. 2.



transparence à l'aide d'un prisme P ou d'un miroir plan. La lentille O en donne une image agrandie qui, après réflexion sur le miroir M, vient se former en I', où on la grossit encore à l'aide d'un oculaire négatif L muni d'un réticule vertical pour le pointage.

J'ai remplacé le miroir plan M, difficile à obtenir, par un miroir concave argenté sur sa face postérieure.

Les miroirs concaves à *faces parallèles* me donnaient des images multiples qui rendaient l'observation impossible, à cause du fort grossissement demandé à l'appareil optique.


Fig. 3.



J'ai tourné cette difficulté en prenant soit un ménisque convergent, soit une petite lentille plan convexe argentée sur la face postérieure.

Le tout forme ainsi avec la lentille O un miroir concave donnant en I′ une image parfaite pouvant supporter des grossissements de 100 diamètres.

On comprend, sans que j'insiste, que, par ce mécanisme, *la*

sensibilité de l'appareil est augmentée dans la proportion du grossissement.

Il en résulte qu'on peut lire avec une grande précision les plus faibles déviations angulaires, ce qui rend le galvanomètre à la fois très rapide et à indications proportionnelles.

La *fig.* 3 donne une vue perspective de cette échelle.

L'échelle micrométrique est entre le miroir éclaireur et la lentille L. L'oculaire grossissant se trouve au-dessus, comme on le voit sur la figure.

L'échelle micrométrique et l'oculaire sont mobiles. En remplaçant cette échelle micrométrique par un simple fil vertical et l'oculaire par une échelle transparente divisée sur celluloïde (figurée en pointillé sur le dessin), on transforme l'appareil en une échelle transparente de Carpentier, commode lorsqu'on n'a pas besoin de toute la sensibilité de l'appareil.

La lentille L, placée en avant de l'échelle micrométrique, joue un double rôle; elle augmente la clarté de l'image, et, de plus, comme elle est mobile sur la tringle qui la porte, on change le grossissement de l'appareil en la faisant glisser.

Le système étant placé à $1^m,20$ du galvanomètre, on apprécie un déplacement de l'image égal à $\frac{1}{40}$ de millimètre, soit une déviation angulaire de $\frac{1}{400}$ de degré du cercle.

C'est M. Lutz, l'opticien bien connu, qui a construit cet appareil sur mes indications. *Ce mode de lecture n'est applicable qu'aux appareils apériodiques.*

Galvanomètres apériodiques.

Ces instruments sont de deux sortes :

1° Les galvanomètres à aimant mobile;

2° Les galvanomètres à circuit mobile.

C'est en 1880 que j'ai introduit, en électrométrie, les galvanomètres à circuit mobile. Ces appareils ont trois avantages bien précieux : 1° ils sont absolument apériodiques; 2° la partie mobile n'étant pas magnétique, ils sont soustraits à l'influence du magnétisme terrestre ou des aimants voisins, ce qui les rend précieux pour prendre des mesures dans les usines électriques; 3° le couple moteur peut être rendu très grand, puisque, toutes choses égales d'ailleurs, il est proportionnel au produit de l'intensité du courant

à mesurer par l'intensité du champ magnétique. Or on peut rendre ce champ magnétique aussi puissant qu'on le désire.

Mon premier galvanomètre à circuit mobile, construit par M. Carpentier, m'avait été inspiré par le galvanomètre de M. Marcel Deprez, connu sous le nom de *galvanomètre à arête de poisson*.

Dans cet appareil, une aiguille en fer doux, placée dans un cadre galvanométrique, est fortement polarisée par un aimant en fer à cheval qui embrasse le circuit. Cet appareil est à indications rapides, mais, étant fortement dirigé, il est peu sensible. En un mot, *il n'est pas astatique*.

Voici comment M. Marcel Deprez expose, dans *la Lumière électrique* (numéro du 7 septembre 1881), l'importante modification que j'ai fait subir à son appareil :

« Lorsque l'on veut une très grande sensibilité, il faut nécessairement se rapprocher beaucoup de l'astaticité, c'est-à-dire rendre la force directrice très faible, tout en conservant à l'aiguille aimantée (dite *arête de poisson*) l'aimantation la plus énergique possible.

» Pour satisfaire à ces deux conditions, qui, au premier abord, paraissent inconciliables, M. d'Arsonval a eu l'heureuse idée d'apporter à mon galvanomètre une modification qui n'en change pas le nombre des organes, mais qui permet de rendre la forme antagoniste aussi faible qu'on veut, tout en augmentant l'action mécanique du courant sur l'aiguille. M. d'Arsonval a été conduit à cette disposition en remarquant que cette action mécanique est accompagnée d'une réaction égale et contraire de l'aiguille sur le courant, et que, par conséquent, *si l'on fixe l'aiguille et que l'on rende le courant mobile*, on n'altère pas le moment de l'effort exercé par le cadre galvanométrique sur l'aiguille, tandis que l'effet antagoniste est annulé. Il est même facile de voir que la force, qui tend à faire mouvoir le cadre, est plus grande que celle qui est exercée par le cadre sur l'aiguille, parce que le cadre est, en outre, sollicité à se mouvoir dans la même direction par l'aimant permanent dans lequel il est enfermé. »

Cet appareil repose sur le même principe que le siphon recorder de William Thomson (indiqué par Cl. Maxwell). On voit que je suis arrivé à cette combinaison en partant d'un autre point de vue, et que j'ai aussi transformé *en galvanomètre* un appareil qui jusque-là n'avait été employé que comme récepteur télégraphique.

J'ai donné à cet appareil le nom d'*appareil Deprez-d'Arsonval* pour rappeler son origine. Ultérieurement, il fut breveté par M. Deprez pour les usages industriels.

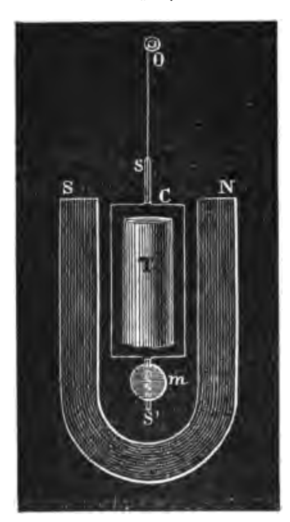
M. Carpentier le dispose de la façon suivante : entre les branches d'un aimant en fer à cheval placé verticalement est suspendu un cadre galvanométrique rectangulaire au moyen de deux fils métalliques reliés l'un au-dessus, l'autre au-dessous du cadre et qui servent à y amener le courant. Les deux autres extrémités de ces fils sont respectivement fixées à deux points d'attache de telle façon que l'équipage tourne autour de ces deux fils tendus comme axe.

A l'intérieur de ce cadre est fixé, d'une façon indépendante, mais immuable, un cylindre de fer doux qui concentre le champ magnétique.

Thermo-galvanomètre.

J'ai imaginé cet appareil (*fig.* 4), en vue de mesurer la chaleur rayonnante. Sa forme dérive directement du galvanomètre primitif décrit ci-dessus.

Fig. 4.



Il se compose d'un aimant en fer à cheval SN et du tube de fer doux T dont l'ensemble constitue le double champ magnétique de l'instrument. Un cadre métallique C, suspendu par un fil de cocon O, peut se mouvoir dans le champ. Ce cadre est composé de deux moitiés symétriques faites de métaux différents. La moitié

gauche, par exemple, est un fil d'argent, la moitié droite un fil de palladium, ces deux moitiés se soudent l'une à l'autre en S et S'. On a ainsi un circuit thermo-électrique, traversé par un courant si les deux soudures S et S' ne sont pas à la même température. *La pile thermo-électrique et le galvanomètre sont un seul et même appareil.*

L'équipage est orienté par son faible magnétisme ou par un petit brin de fil de fer fixé au cadre. Le miroir *m* sert à lire les déviations et protège la soudure S' contre le rayonnement. On concentre au contraire sur la soudure supérieure S les rayons calorifiques émanant de la source qu'on veut étudier.

L'appareil est absolument apériodique et aussi astatique qu'on peut le désirer. Sa sensibilité est donc des plus considérables et sa capacité calorifique nulle. L'inertie en est très faible et les indications par conséquent extrêmement rapides. On peut en décupler encore la sensibilité en se servant de l'échelle micrométrique décrite ci-dessus.

Le même appareil peut être rendu encore plus simple et moins inerte.

On supprime le tube de fer, et le couple se compose simplement de deux fils métalliques (argent palladium) soudés à leurs extrémités et suspendus au fil de cocon en O.

SÉANCE DU 19 FÉVRIER 1886.

PRÉSIDENCE DE M. SEBERT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 5 février est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. Amagat, Professeur à la Faculté catholique de Lyon.
Armagnat, Ingénieur à Paris.
Bouchard, Sous-Ingénieur des télégraphes à Tours.
Buguet, Professeur au lycée de Moulins.
Corvisy, Professeur au lycée de Saint-Omer.
Lyon (Gustave), Ingénieur civil des Mines à Paris.
Schodduijn (l'abbé), Professeur de Sciences à Gravelines.
Thouvenot (Clovis), Ingénieur électricien à Zurich.
Voisenat (Jules), Sous-Ingénieur des télégraphes à Paris.
Vandenbroucque, Professeur à l'Institution libre de Marcq en Barœul.

M. le Président fait part à la Société, dans les termes suivants, de la perte qu'elle vient de faire en la personne de M. Jamin, l'un de ses Membres honoraires :

Depuis notre dernière séance, la Société de Physique a subi une grande perte. M. Jamin avait présidé notre Société en 1875; il était depuis 1882 un de nos membres honoraires. C'est la première fois que la mort frappait l'un de nos anciens présidents dans des circonstances nous permettant de prendre part aux hommages rendus à sa mémoire; car vous vous rappelez que, lors de la mort du regretté Bertin, notre Société était en vacances, et que d'ailleurs les obsèques de notre Confrère ont eu lieu en province.

Votre Bureau a pensé que la Société devait réclamer une part officielle dans les honneurs rendus à M. Jamin. Cette demande a été accueillie, et j'ai eu le grand honneur de vous représenter dans cette triste cérémonie. J'ai été admis à tenir l'un des cordons du poêle et appelé à prononcer quelques paroles d'adieu sur la tombe.

Quelques-uns d'entre vous ont formulé le désir d'entendre ce soir les quelques mots que j'ai prononcés. Je viens donc vous les lire en exprimant l'espoir d'avoir exactement rendu ce qui était dans votre pensée à tous :

« La Société de Physique ne peut laisser refermer cette tombe sans adresser un dernier adieu à celui que la mort vient de terrasser après une lutte longue et douloureuse.

» Quand, en 1873, Bertin, d'Almeida et Lissajous, ces ouvriers de la première heure, si tôt ravis à notre amitié, firent appel aux savants français pour créer une Société destinée à contribuer à l'avancement de la Physique, Jamin fut un des premiers à apporter à la Société nouvelle l'appui de son nom et de sa grande autorité. Il en a suivi le développement avec intérêt, se réjouissant de sa prospérité croissante, l'aidant de ses conseils et prenant part à ses travaux avec l'ardeur qu'il apportait en toutes choses.

» Il fut appelé à la présidence en 1875 et resta depuis cette époque membre associé de son Conseil. Aussi la Société fut heureuse, en 1882, de pouvoir lui offrir le titre de membre honoraire qu'elle réserve, comme un hommage, aux physiciens les plus éminents.

» La Société de Physique eut la bonne fortune de recevoir souvent la primeur des Communications de Jamin sur ses travaux et ses découvertes. C'est ainsi qu'elle entendit successivement l'exposé de ses intéressantes recherches sur le magnétisme, dans lesquelles il a développé toute la sagacité d'observation et l'habileté d'expérimentation dont il a donné tant d'exemples.

» Ses auditeurs garderont toujours le souvenir de la clarté qu'il savait apporter dans l'exposition des sujets les plus ardus, de la chaleur communicative de sa parole, de toutes ces qualités enfin qui en faisaient un professeur d'une habileté incomparable et un conférencier sans rival.

» L'autorité qu'il avait acquise dans les questions concernant les applications de l'électricité le fit désigner pour la présidence de la Commission

d'organisation du Congrès des électriciens, lors de l'ouverture de l'exposition de 1881.

» Appelé à collaborer aux travaux de cette Commission, j'eus l'occasion de le voir alors à l'œuvre de très près; je retrouvai en lui la même ardeur que je lui avais connue plus de vingt ans auparavant, lorsque je recevais ses leçons sur les bancs de l'École Polytechnique.

» Je lui retrouvai aussi cette même ampleur de vues qui s'alliait si bien avec tout son être. Il en a laissé les traces dans le programme fécond qui servit de base aux délibérations du Congrès et qui provoqua la création de la Conférence internationale des électriciens dont, à la mort de Dumas, il recueillit la présidence.

» L'Académie des Sciences, en le nommant Secrétaire perpétuel, lui avait donné le plus grand honneur qu'il pût ambitionner, et rien ne pouvait faire prévoir alors qu'il suivrait si promptement dans la tombe son illustre prédécesseur.

» Sa robuste nature semblait devoir lui assurer encore de longs jours. Sa perte n'en est que plus sensible pour tous ceux (et ils sont nombreux) qui ont pour lui l'affection et le respect qu'inspirèrent son caractère loyal et ses éminentes qualités.

» La Société de Physique y perd plus que toute autre. Il ne comptait dans son sein que des amis; il s'y considérait comme en famille, et c'est au nom de l'amitié et de la concorde qu'il nous adressait le discours de clôture de sa période présidentielle.

» C'est au nom de la reconnaissante affection que nous lui devons que nous envoyons notre dernier adieu au maître aimé et respecté qui nous quitte aujourd'hui ».

M. le Président annonce également à la Société la mort de M. de Sourdeval, l'un de ses membres les plus anciens, qui s'est surtout signalé par l'impulsion qu'en qualité de président de la Société d'électricité il a donnée au mouvement qui s'est produit vers l'année 1878 en faveur des applications de l'électricité à l'éclairage public. On se rappelle que c'est à l'initiative de cette Société qu'a été due la brillante application de la bougie Jablochkoff à l'éclairage de l'avenue de l'Opéra.

M. Leduc décrit deux nouvelles méthodes pour la mesure des champs magnétiques. Ces méthodes peuvent être employées dans un atelier de construction et permettent à l'observateur de s'installer près de la machine qu'il étudie. Les mesures peuvent être faites rapidement et simplement à 5 unités près (C.G.S.)

La première méthode est fondée sur le principe du galvanomètre à mercure de M. Lippmann. L'appareil se compose d'un explorateur et d'un manomètre différentiel à mercure et eau. L'explorateur est constitué par une chambre à mercure très mince traversée par un courant d'intensité connue I. Il peut être soudé au manomètre ou lui être relié par de petits tubes de caoutchouc remplis de mercure.

L'intensité M du champ est donnée en fonction du déplacement h du sommet de la colonne d'eau par la formule

$$M = \frac{Kh}{I \sin\alpha},$$

dans laquelle K est une constante que l'on peut connaître à 0,01 près, et α l'angle que fait la chambre à mercure avec les lignes de force du champ.

Si la chambre est coupée normalement par ces lignes, la hauteur h est maxima, et la formule se réduit à

$$M = \frac{Kh}{I}.$$

On pourra donc connaître l'intensité du champ et la direction des lignes de force.

La deuxième méthode est fondée sur l'augmentation de résistance électrique du bismuth dans un champ magnétique, phénomène que M. Leduc a observé pour la première fois en avril 1884.

Si l'on désigne par z l'augmentation de résistance de l'unité dans un champ M et si l'on trace une courbe en prenant comme coordonnées les valeurs de M et de z, on reconnaît sans peine un quart d'hyperbole dont l'équation est

$$z^2 + \beta z - \alpha M^2 = 0.$$

Il sera facile de déterminer α et β, en plaçant successivement le métal dans deux champs connus. On pourra ensuite calculer M par la formule

$$M = \sqrt{\frac{z(z+\beta)}{\alpha}}.$$

Les coefficients α et β varient d'un échantillon à l'autre.

Le bismuth obtenu par électrolyse présente au plus haut degré le phénomène. M. Leduc a observé sur certains échantillons une augmentation de résistance de plus de 80 pour 100.

A la demande de M. Cornu, M. Leduc donne quelques renseignements numériques. Il est intéressant de remarquer que le champ produit entre les armatures d'un électro-aimant subit la même diminution, soit que l'on double la distance des armatures, ou que l'on diminue de moitié le courant, ou que l'on ne fasse passer celui-ci que dans l'une des bobines de l'appareil.

M. G. Trouvé présente à la Société divers appareils d'éclairage électrique de son invention, qui ont été employés au Laboratoire zoologique de Roscoff, pour l'étude des petits animaux marins.

Le premier de ces appareils se compose d'un vase cylindrique en cristal. au-dessous duquel est un miroir en glace argentée. Le vase est recouvert

d'un couvercle réflecteur parabolique au centre duquel on suspend une lampe à incandescence. Il est rempli d'eau de mer dans laquelle s'agitent les animaux à étudier.

Le deuxième appareil est une planchette à dissection. La pièce à disséquer est placée dans un petit bac en verre, au-dessous duquel se trouve un miroir parabolique. Une lampe à incandescence est suspendue au foyer du miroir.

L'appareil se complète à l'aide d'un photophore Hélot-Trouvé, pouvant envoyer des rayons lumineux dans une direction quelconque.

Un commutateur permet de lancer à volonté le courant dans la lampe de la planchette ou dans celle du photophore et d'éclairer l'objet par transparence ou par réflexion.

M. G. Trouvé présente à la Société diverses photographies microscopiques obtenues à l'aide de son éclairage.

Mesure des champs magnétiques; par M. Leduc.

Les expériences dont je vais rendre compte ont eu pour but de remplacer la formule grossièrement approchée $D = kM(1 - at)$ que j'avais indiquée dans un précédent travail [1] par une autre plus exacte et de déterminer à $\frac{1}{100}$ ou $\frac{2}{100}$ près le coefficient k pour le bismuth.

Disposition des expériences.

J'ai opéré sur une lame de bismuth de 54^{mm} de longueur, de 32^{mm} de largeur, et dont l'épaisseur moyenne calculée d'après sa résistance serait de $0^{mm},0233$.

Soient A, B, G, H les milieux des côtés de la lame. Deux pinces fixées en A et B servent d'électrodes au courant qui traverse le métal dans le sens de la longueur. Deux autres pinces fixées en G et H, mais isolées du métal au moyen de mica, portent de petits ressorts dont les extrémités, munies de têtes arrondies, viennent s'appuyer en deux points E et F de la ligne GH. Ces deux points sont sensiblement au même potentiel. Le tout plonge dans une cuve étroite remplie d'eau distillée, afin d'atténuer le plus possible

---

(1) Voir *Séances de la Société de Physique*, année 1884, p. 189.

l'échauffement dû au courant qui traverse la lame. Cette cuve est placée entre les armatures d'un électro-aimant distantes de $0^m,03$. J'ai vérifié que le champ est sensiblement uniforme dans la région occupée par la lame. Il s'élève à 10 000 C.G.S. lorsqu'on anime l'électro-aimant par un courant de 38 ampères.

Soit D la déviation que subit la ligne équipotentielle passant par E dans un champ magnétique d'intensité M, à la température t°, et représentons par d la distance EF, par ρ la résistance de la lame par centimètre de longueur, et par I l'intensité du courant qui la traverse. Il s'établira entre les deux points E et F une différence de potentiel e donnée par la formule

$$e = I\rho d \operatorname{tang} D.$$

Cette différence de potentiel est mesurée par la méthode de réduction à zéro, au moyen de l'électromètre de M. Lippmann.

Afin d'éviter la correction due au magnétisme rémanent et de doubler l'effet à mesurer, j'ai toujours opéré par renversement du magnétisme de l'électro-aimant.

Variations de la résistance du bismuth.

Remarquons d'abord que la résistance varie avec la température et aussi avec l'intensité M du champ, ainsi que je l'ai observé pour la première fois il y a deux ans.

Pour étudier ces variations, j'ai employé deux méthodes qui m'ont donné des résultats bien concordants. Dans une première série d'expériences, la lame était placée dans l'une des branches d'un pont de Wheatstone; dans une autre série, j'ai observé la différence de potentiel établie entre deux points situés sur la ligne AB par un courant d'intensité donnée.

Voici, par exemple, des nombres tirés de deux expériences; r désigne la résistance en unités britanniques d'une longueur de $19^{mm},5$ de la lame ci-dessus.

t°.	M.	r.
14°	0000	0,0333
»	5000	0354
»	10000	0387

M.	t°.	r.
120	7°,0	0,0344
»	19,0	0331
»	38,5	0321
»	54,5	0314
»	67,0	0309

Les résultats que j'ai obtenus ont été bien représentés par des formules paraboliques de la forme

$$r = r_0(1 + aM + bM^2 - cM^3),$$
$$r_t = r_0(1 - pt + qt^2),$$

et j'ai trouvé, pour les coefficients a, b, c, p, q, les valeurs moyennes suivantes :

$$a = 277 \times 10^{-8},$$
$$b = 228 \times 10^{-11},$$
$$c = 105 \times 10^{-15}.$$

La résistance ρ_0 de la lame par centimètre de longueur à 0° hors du champ magnétique est, d'après ces expériences, $0^{UB},0183$.

Phénomène de Hall.

L'angle D ne dépasse pas 5° ; on peut donc remplacer la tangente par l'angle lui-même.

Admettons que les variations de résistance étudiées ci-dessus soient indépendantes l'une de l'autre et posons

$$\varphi(M, t) = (1 + aM + bM^2 - cM^3)(1 - pt + qt^2) \quad \text{et} \quad \delta = \frac{e}{I\rho_0 d};$$

nous pouvons écrire

$$D = \frac{e}{I\rho d} = \frac{e}{I\rho_0 d[\varphi(Mt)]} = \frac{\delta}{\varphi(M, t)}.$$

Il ne reste plus qu'à étudier la fonction δ. Trois séries d'expériences ont été faites, afin d'établir l'influence de l'intensité M du champ magnétique, de la température t° et de l'intensité I du courant qui traverse la lame.

J'ai fait varier en outre d. Bien que l'expression δ m'ait paru indépendante de cette grandeur, je me propose de répéter ces expériences sur un nouvel échantillon de bismuth, afin d'éviter les perturbations que peut produire le défaut d'homogénéité de cette lame, qui a servi à de nombreux essais.

1° *Variation de* M. — Dans une première série d'expériences, la température t° et l'intensité I sont restées sensiblement inva-

riables, tandis que l'intensité du champ magnétique s'est élevée de 1000 à 9500 C. G. S.

Dans le Tableau ci-après, extrait de l'une de ces expériences, la différence de potentiel e est mesurée en unités arbitraires; pour l'obtenir en volts, il suffira de multiplier les nombres inscrits dans cette colonne par $\frac{1,1}{20000+e}$; l'intensité I est exprimée en ampères; elle est mesurée par la différence de potentiel prise aux extrémités d'un gros fil dont la résistance est 0,0863. L'intensité du magnétisme est mesurée au moyen du magnétomètre à mercure précédemment décrit (¹).

d.	*t.*	M.	I.	*e.*	δ_1.
mm	°				
27	11,0	1650	4,17	87,0	163,0
»	10,0	2680	4,16	129,0	164,2
»	9,5	3000	4,15	140,5	164,9
»	9,0	3420	4,14	153,0	164,3
»	8,5	3940	4,03	163,0	164,1
»	15,0	5400	4,10	198,0	166,0
»	15,0	6100	4,10	212,0	165,4

J'ai tracé une courbe en prenant comme abscisses les valeurs du champ et pour ordonnées celles de $\frac{e}{I}$. Cette courbe est bien représentée par l'équation

$$\frac{e}{I} = \mu M(1 - \alpha M + \beta M^2),$$

dans laquelle

$$\alpha = 91 \times 10^{-6},$$
$$\beta = 316 \times 10^{-11}.$$

On voit, en effet, dans la dernière colonne que l'expression $\delta_1 = \frac{\delta \times 10^{-7}}{M(1 - \alpha M + \beta M^2)}$ est sensiblement constante; ses variations peuvent être attribuées à la différence des températures auxquelles sont faites les diverses lectures.

2° *Variation de* I. — Dans une expérience où j'ai maintenu

(¹) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences* du 28 juillet 1884.

constantes, autant que possible, l'intensité du champ et la température, j'ai obtenu les nombres suivants :

t.	M.	I.	e.	δ_1.
13,0	3560	4,12	158,0	168,6
15,0	3240	4,13	149,0	168,6
13,0	3510	3,59	136,0	167,7
15,5	3270	3,61	130,5	167,9
13,0	3460	3,02	113,5	167,8
15,0	3300	3,04	110,0	166,9
14,0	3400	1,76	65,0	166,9
14,5	3340	1,75	64,0	167,3
14,5	3370	1,13	41,5	167,0

Les nombres de la dernière colonne s'élèvent légèrement en même temps que I augmente; mais la différence de 1 pour 100 qui existe entre le premier et le dernier de ces nombres peut être attribuée à l'échauffement que subit la lame traversée par le courant, quoiqu'elle soit plongée dans l'eau. Il suffit, en effet, d'une élévation de température de 2° pour produire une semblable augmentation. Nous admettrons donc que la déviation D est absolument indépendante de l'intensité I.

3° *Variation de t^o.* — Enfin plusieurs expériences ont été faites avec des valeurs différentes de M, dans lesquelles j'ai fait varier la température entre 0° et 70°. J'ai consigné dans le Tableau ci-dessous les valeurs de δ_1 calculées au moyen de la formule précédente.

d.	t^o.	M.	I.	e.	δ_1.
mm 25,5	70	3900	4,92	188	164,0
»	25	3800	4,93	199	170,0
»	40	3730	4,97	198	169,4
»	62	3670	5,04	183	156,6

Ces résultats sont bien représentés par la formule

$$\delta_1 = 158(1 + mt - nt^2),$$

dans laquelle

$$m = 0,00541, \qquad n = 0,000093.$$

Conclusion.

On peut donc représenter δ par la formule suivante

$$\delta = kM(1 - \alpha M + \beta M^2)(1 + mt - nt^2)$$

et, par suite,

$$D = \frac{\delta}{\varphi(Mt)} = kM \frac{(1 - \alpha M + \beta M^2)(1 + mt - nt^2)}{(1 + aM + bM^2 - cM^3)(1 - pq + qt^2)}$$

ou enfin

$$D = kM(1 - AM + BM^2 + CM^3)(1 + Pt - Qt^2),$$

formule dans laquelle les constantes ont les valeurs suivantes :

$k = 158 \times 10^{-7}$,
$A = a + \alpha = 882 \times 10^{-7}$,
$B = \beta - b + aA = 112 \times 10^{-11}$, $P = m + p = 844 \times 10^{-5}$,
$C = c + bA - aB = 303 \times 10^{-15}$, $Q = n + q - pP = 862 \times 10^{-7}$.

Cette formule montre que D atteint 5° environ dans un champ égal à 10 000. Elle n'est pas applicable au delà. On voit aussi que la déviation D est maxima à la température de 49°.

Remarque I. — M. Hall appelle *pouvoir rotatoire magnétique* l'expression

$$R = \frac{e\varepsilon}{IM},$$

dans laquelle ε désigne l'épaisseur de la lame, et il attribue à ce coefficient pour le bismuth la valeur 858×10^{-11}.

On remarquera que R varie avec la température et l'intensité magnétique. Désignons, en effet, par ρ_1 la résistance spécifique du bismuth, exprimée en ohms; on voit que

$$R = \frac{\delta \rho_1}{M},$$

et, si l'on adopte pour ρ_1 la valeur donnée par M. Mathiessen, 1312×10^{-7}, on a, d'après l'expérience ci-dessus,

$$R = 207 \times 10^{-11}(1 - \alpha M + \beta M^2)(1 + mt - nt^2).$$

Eu égard à la température, on voit que R prend une valeur maxima vers 29°.

La valeur de R est toujours inférieure à 240×10^{-11} et devient trois fois plus petite dans un champ égal à 15000. Le coefficient donné par M. Hall serait donc beaucoup trop fort. Je me propose d'examiner si une pareille différence peut tenir à quelque particularité de l'échantillon du métal employé.

Quelques expériences sur l'antimoine m'ont donné pour le coefficient k la valeur 44×10^{-8}, que je crois exacte à 10 pour 100 près. Il en résulte que R doit rester inférieur à 16×10^{-12}. M. Hall donne à ce coefficient une valeur sept fois plus forte

$$R = 114 \times 10^{-12}.$$

Remarque II. — On a vu plus haut que la résistance du bismuth peut augmenter de 16 pour 100 de sa valeur dans un champ magnétique égal à 10000 C. G. S.

Cette augmentation de résistance est due en partie à la déviation des lignes équipotentielles; la résistance doit être multipliée, en effet, par $\frac{1}{\cos D}$. Mais il est facile de voir que ce coefficient ne dépasse pas ici 1,005. Il faut donc chercher l'explication de ce phénomène dans le changement de structure du métal qui produit aussi la déformation du champ électrique de la lame.

Quoi qu'il en soit, je me suis proposé d'étudier cette variation sur des échantillons de bismuth préparés de diverses manières, afin de l'appliquer à la mesure des champs magnétiques.

Je me bornerai à indiquer ici que la formule parabolique adoptée plus haut doit être remplacée, si l'on veut dépasser les limites entre lesquelles elle a été établie, par la formule hyperbolique

$$z^2 + \beta z - \alpha M^2 = 0,$$

dans laquelle z est le rapport $\frac{r_n - r_0}{r_0}$, et α et β des constantes que l'on devra déterminer au moyen de deux expériences. Cela fait, on calculera aisément l'intensité M du champ qui produit une variation donnée de la résistance par la formule

$$M = \sqrt{\frac{z(z+\beta)}{\alpha}}.$$

Note sur les appareils d'éclairage électrique de M. G. TROUVÉ.

Les appareils construits pour les stations de Roscoff et de Banyuls se composent, comme le montre la *fig.* 1, d'un vase cylindrique en cristal, au-dessous duquel est un miroir en glace argentée. Le vase est recouvert d'un couvercle réflecteur argenté,

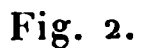
Fig. 1.

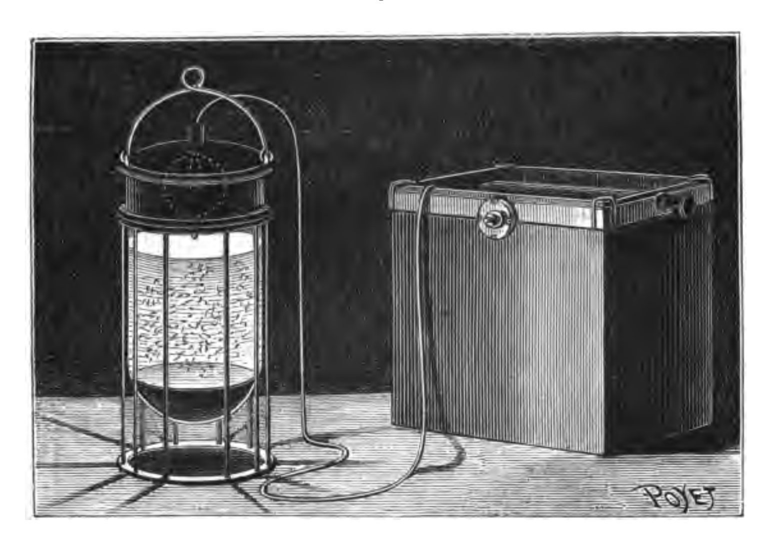


à surface parabolique, au centre duquel est suspenque une lampe à incandescence. Il est rempli d'eau douce ou de mer, suivant la nature des êtres que l'on veut examiner. Entre le couvercle parabolique et le miroir du fond, il s'opère un renvoi de rayons dans une direction parallèle aux parois verticales du vase. L'éclairage ainsi dirigé permet d'étudier ces animaux délicats jusque dans

leurs détails les plus minutieux, avec une netteté surprenante, et de suivre tous leurs mouvements avec la plus grande facilité. A l'aide de la loupe, les résultats de l'observation sont vraiment remarquables, si l'on considère la simplicité des organes mis en jeu.

Pour étudier les fermentations, l'appareil est un peu modifié; le couvercle réflecteur est rodé sur le vase muni de robinet ou vissé sur une garniture métallique scellée sur le bord supérieur du vase de cristal, pour mettre les préparations à l'abri de l'air (*fig.* 2).


Fig. 2.

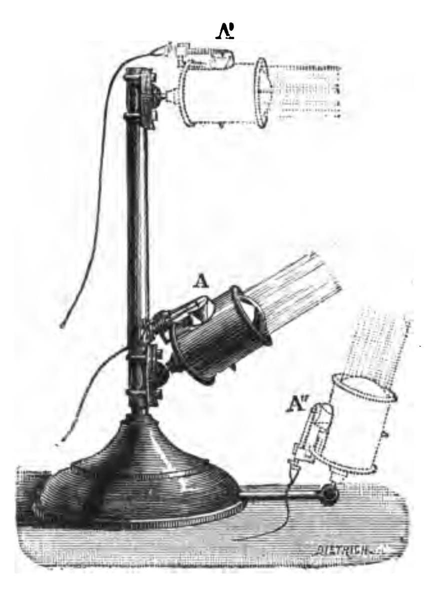


Une chemise métallique en forme de lanterne met l'appareil à l'abri de tout choc extérieur.

Un second appareil (*fig.* 3) est le photophore électrique de MM. Hélot et Trouvé, modifié de manière à permettre d'opérer les dissections les plus fines en éclairant vivement les préparations. Sa lumière n'altère en rien la couleur des animaux, qui apparaissent tels qu'ils sont au jour. Ce qu'il faut apprécier dans le photophore, c'est son petit volume et surtout son maniement très facile, qui permet de le placer comme on le désire, d'éclairer obliquement ou dans tout autre sens l'objet à examiner. Il est, par exemple, possible, en posant sur une planchette un petit bac rempli d'eau de mer où vivent des animaux, de rester plongé

dans l'obscurité, tandis qu'on promène le pinceau éclatant de lumière sur telle ou telle partie du bocal qu'on examine à la

Fig. 3.



loupe. La lumière peut encore traverser le bac de bas en haut et éclairer fortement l'animal par transparence.

La pile elle-même qui fait fonctionner ces appareils est peu encombrante, elle pèse à peine 3^{kg} et, néanmoins, permet d'opérer avec une grande sûreté.

SÉANCE DU 5 MARS 1886.

PRÉSIDENCE DE M. WOLF, VICE-PRÉSIDENT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 19 février est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Brachet (Henri), Ingénieur à Lyon.

Hugoniot, Capitaine d'artillerie de Marine, répétiteur à l'Ecole Polytechnique.

Vlasto (Ernest), Ingénieur administrateur de la Société anonyme de fabrication de produits chimiques à Paris.

M. le PRÉSIDENT fait part à la Société de la perte regrettable qu'elle vient de faire en la personne de M. Auguste Guérout, secrétaire de la rédaction du journal *la Lumière électrique.*

M. le PRÉSIDENT annonce que le Conseil d'administration de l'Association française pour l'avancement des Sciences a voté une somme de 300^{fr} comme souscription à la publication des Mémoires d'Ampère.

M. le PRÉSIDENT donne lecture d'une lettre de M. le Ministre de l'Instruction publique, annonçant que le Congrès des Sociétés savantes pour 1886 s'ouvrira à la Sorbonne le 26 avril, et invitant les membres de la Société à prendre part à ce congrès.

M. le PRÉSIDENT annonce enfin qu'un Congrès Scientifique se tiendra à Limoges, sous le patronage de la Société « Gay-Lussac », du 31 mai au 5 juin 1886.

M. MERGIER présente un appareil destiné à la démonstration expérimentale des lois du grossissement dans les instruments d'optique (loupe, microscope, etc.), telles que M. Guébhard les a exposées en 1883, au point de vue mathématique, et que des constructions géométriques dues à M. Gariel mettent en évidence.

Cet appareil, construit par M. Ducretet, se compose d'une règle métallique horizontale, sur laquelle peuvent se déplacer, au moyen de supports appropriés : un œil artificiel, une lentille faisant fonction de loupe et une flèche éclairée par une lampe ordinaire. — L'œil artificiel est constitué par un écran rétine et, afin de produire l'accommodation, d'une lentille du Dr Cusco, modifiée de la façon suivante : Dans la monture métallique où sont enchâssées les deux lames de verre minces qui composent cette lentille, ont été ajoutés, de part et d'autre, deux ménisques convergents de même puissance; ces ménisques, outre qu'ils protègent les lames minces très fragiles, ont pour but d'éviter le déplacement du centre optique, sous l'influence de l'accommodation.

Au moyen de cet appareil on montre nettement les résultats théoriques suivants :

1° Le centre optique de l'œil étant placé au delà du foyer de la loupe, le maximum de grossissement est obtenu lorsque l'objet est le plus près possible du second foyer (au foyer même pour l'œil normal). Ce cas se trouvant souvent réalisé dans la pratique pour un certain nombre d'instruments d'optique (microscope, etc.), l'erreur qui consiste à dire que dans ces instruments l'image virtuelle est placée (selon une expression impropre) à la distance de la vision distincte (*punctum proximum*) est ainsi mise en évidence.

2° Si le centre optique est entre la loupe et son foyer, on a le maximum du grossissement en rapprochant l'objet le plus près possible de la loupe (c'est le seul cas où l'image virtuelle soit au *punctum proximum*).

3° Enfin, dans le cas où il y a coïncidence entre le centre optique et le foyer de la loupe, la position de l'objet est indifférente.

Ces expériences sont projetées devant la Société.

M. Mergier fait remarquer, en terminant, que l'appareil peut aussi servir, si on supprime la lentille-loupe, à réaliser toutes les expériences relatives à l'œil normal et aux différentes amétropies.

L'astigmatisme peut également être réalisé au moyen d'une lentille cylindrique pouvant s'adapter à la lentille Cusco.

M. Potier expose le résultat d'expériences faites par M. Cornu et par lui, relatives à la loi de Verdet.

Dans une séance précédente M. Cornu a montré que la loi de Verdet conduisait à cette conséquence, que les rayons perpendiculaires aux lignes de force, tombant normalement sur un milieu placé dans un champ magnétique uniforme, devaient subir une double réfraction, en se divisant en deux circulaires; l'angle de ces deux rayons est $K\frac{\lambda'}{\pi}$. Si K est la rotation produite par l'unité d'épaisseur et λ' la longueur d'onde dans le milieu, si la loi de Verdet n'est pas exacte, cet angle existera néanmoins et aura la même valeur en désignant par K la limite $\frac{[\omega]}{\beta}$ du rapport de la rotation par unité de longueur à l'angle β de l'onde lumineuse et des lignes de force; on s'est proposé de rechercher si ce rapport tend vers une limite différente de zéro, et si la loi de Verdet est exacte.

Le champ magnétique, très allongé perpendiculairement aux lignes de force, était produit par deux électro-aimants, formés chacun d'un bloc de fer, de $0^m,32$ de long, $0^m,20$ de haut et $0^m,075$ d'épaisseur, dans lequel deux cavités longitudinales à section demi-circulaire sont pratiquées, laissant entre elles un noyau saillant de $0^m,03$ d'épaisseur, formant la surface polaire. Le fil était enroulé autour de ce noyau dans les cavités : le poids du cuivre était de $6^{kg},50$, son diamètre de 1^{mm}. Les deux blocs étaient reliés par des armatures en fer. Le courant était d'environ 4 ampères et le champ de 1200 unités, lorsque les noyaux étaient à $0^m,06$ l'un de l'autre.

Le liquide employé est une solution saturée à froid d'iodure de mercure dans l'iodure de potassium, dont le pouvoir rotatoire est 10 fois celui de l'eau.

En observant les rotations produites par une colonne de $0^m,30$ dont l'axe formait avec les perpendiculaires aux lignes de force des angles β dont le sinus a varié de $-0,10$ à $+0,10$, on a vérifié que le rapport $\frac{[\omega]}{\beta}$ tendait bien vers une limite finie; mais les rotations n'étaient pas rigoureusement proportionnelles à $\sin\beta$, comme l'indique la loi de Verdet; on a vérifié que le champ n'était pas uniforme et, en employant une colonne de $0^m,20$ seulement, l'écart entre l'observation et la loi de Verdet est devenu insignifiant.

En étudiant directement le champ magnétique, on a vérifié aussi que les écarts trouvés avec le tube de $0^m,30$ étaient bien dans le sens indiqué par la loi de Verdet appliquée à un champ non uniforme.

M. **Bouty** présente le saccharimètre de MM. **Th.** et **A. Duboscq**, qui dérive du *saccharimètre des râperies* de M. Trannin. Dans les deux appareils on reconnaît la position du plan de polarisation à l'aide d'un polariscope de Senarmont. On sait que ce polariscope est obtenu par la juxtaposition de deux lames formées chacune de prismes égaux de quartz droit et de quartz gauche réunis par leur face hypoténuse, mais disposées en sens inverse. Quand ce système est placé entre un polariseur et son nicol à l'extinction, il fournit au milieu du champ une frange noire unique qui se dédouble en deux franges se déplaçant en sens inverse dans la moitié supérieure et la moitié inférieure du champ, dès que le plan de polarisation vient à dévier de sa position primitive.

Dans le saccharimètre de M. Trannin, la frange est primitivement dédoublée, et l'on cherche quelle est l'épaisseur de sirop sucré nécessaire pour ramener les deux franges dans le prolongement l'une de l'autre. Au contraire, dans le saccharimètre de MM. Th. et A. Duboscq, la frange est primitivement unique, et l'on interpose entre le polariscope et l'analyseur une colonne de sirop sucré de longueur fixe qui produit le dédoublement; on ramène la frange à être conique, et on mesure la rotation du plan de polarisation produite, à l'aide du compensateur, bien connu, de Soleil.

L'appareil est d'un fort bon usage en lumière blanche. La source lumineuse est une lampe à pétrole que l'on place de façon qu'elle éclaire par sa tranche la lentille collective, placée en avant du polariseur. Cette lentille, le polariseur et le polariscope sont portés par un même tube, au delà duquel se place le tube à sirop. Un second tube fixe porte le compensateur, l'analyseur et une petite lunette de Galilée.

D'après M. Dupont qui a effectué des mesures comparées à l'aide du nouveau saccharimètre et du saccharimètre Laurent à lumière jaune, les indications des deux instruments ont une très bonne concordance, et plus que suffisante pour la pratique industrielle.

M. Léon **Laurent** dit qu'il a déjà essayé, il y a douze ans, l'application au saccharimètre du prisme de Senarmont (*Journal de Physique*, t. III, p. 183). Cette solution, qui paraît séduisante au premier abord, manque de sensibilité. On sait en effet que les franges produites par ce prisme sont à bords estompés et d'autant plus, que celui-ci est taillé plus mince afin d'obtenir un déplacement appréciable des franges; il y a indécision dans le pointé.

M. Léon Laurent abandonna alors cette solution pour celle de sa lame *demi-onde*, beaucoup plus précise, surtout dans son modèle à compensateur et à lumière ordinaire, présenté à la Société le 19 mai 1882.

Vérification de la loi de Verdet; par MM. Cornu et Potier.

Faraday a découvert le pouvoir rotatoire magnétique; il a vu que ce pouvoir était nul pour les ondes parallèles aux lignes de force et changeait de signe avec la projection, sur la direction de celles-ci, de la direction de propagation du rayon; ce qui revient à dire que des circulaires gauches et droits se propagent avec des vitesses différentes v_1, v_2 dépendant de l'angle β de l'onde et des lignes de force. La rotation $[\omega]$ du plan de polarisation par unité de longueur est liée à ces vitesses par la relation

$$[\omega] = \left(\frac{1}{v_1} - \frac{1}{v_2}\right)\frac{\pi}{\tau}.$$

D'après Faraday, $v_1 - v_2$ s'annule avec β; si v_0 est la vitesse commune pour cette direction, on aura

$$v_1 = v_0 + A\beta + \ldots, \qquad v_2 = v_0 + A'\beta + \ldots.$$

La direction du rayon gauche, par exemple pour $\beta = 0$, s'obtiendra en cherchant l'intersection de cette onde avec les ondes infiniment voisines, par suite le rayon doit être dans le plan normal à l'onde passant par les lignes de force et fait avec la normale à l'onde un angle $\frac{A}{v_0}$, tandis que le rayon droit fait l'angle $\frac{A'}{v_0}$ avec la même direction; l'angle de ces deux rayons est donc

$$\frac{A - A'}{v_0} = \lim \frac{v_1 - v_2}{\beta}$$

pour $\beta = 0$, ou encore

$$\frac{\lambda'}{\pi} \lim \frac{[\omega]}{\beta}$$

si λ' est la longueur d'onde $v_0\tau$ dans le milieu. Il y aura donc bifurcation des rayons gauches et droits dans le milieu soumis à l'action magnétique, et recevant de la lumière naturelle dans une direction perpendiculaire aux lignes de force, lorsque la limite $\frac{[\omega]}{\beta}$ sera différente de zéro; c'est ce point que nous nous sommes proposé d'étudier.

Cette vérification est superflue si l'on admet la loi de Verdet,

ainsi que M. Cornu l'a fait remarquer (¹); d'après celle-ci $[\omega] = k \sin \beta$, où k est le pouvoir rotatoire pour les rayons parallèles aux lignes de force, l'angle des deux rayons est $\frac{k\lambda'}{\pi}$. Mais on a mis récemment en doute (²) l'exactitude rigoureuse de la loi de Verdet. Dans ses expériences, du reste, pour ne pas cesser d'avoir des rotations mesurables avec une approximation suffisante, Verdet n'a pas utilisé d'angle β inférieur à 15°. Il y avait donc lieu d'examiner à nouveau dans des directions faisant avec les lignes de force des angles voisins de 90°, les rotations produites dans un champ magnétique.

Fig. 1.

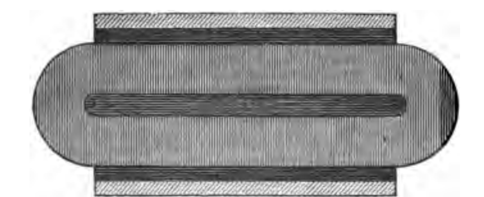
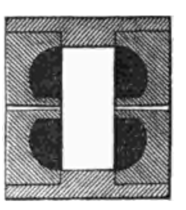


Fig. 2.



Le champ magnétique a été obtenu en mettant en regard deux électro-aimants. Chacun d'eux se compose d'un bloc parallélépipédique, formé de 3 parties reliées par des boulons, de 32^{cm} de longueur perpendiculairement aux lignes de force, de $7^{cm},5$ d'épaisseur dans leur direction et de $20^{cm},7$ de hauteur. La face interne du bloc présente deux cavités cylindriques, symétriques, ayant leurs génératrices parallèles à la longueur, laissant entre elles une bande saillante de 3^{cm} de hauteur qui est le noyau proprement dit; le reste de la section droite est une portion de circonférence de 8^{cm} de diamètre dont le prolongement passerait par le milieu du noyau. Dans ces cavités est enroulé le fil de cuivre maintenu par des joues en laiton à l'aplomb de la face interne du bloc. Les deux blocs, placés en regard l'un de l'autre, sont maintenus à distance par des fers doux de même longueur qui *ferment* l'électro-aimant. Cette fermeture est très efficace; elle augmente dans le rapport de 6 à 10 le champ magnétique (distance des noyaux, $6^{cm},4$;

(¹) *Séances de la Société de Physique*, année 1885, p. 33.

(²) Dr E. von Fleischl, *Sitzungsberichte der KK. Ak. der Wiss.*, XC Band., December Heft, 1884.

excitation, 4^{amp}). Les blocs sont percés de trous coniques : l'un au milieu, les autres à 15^{cm} de chaque côté, qui permettent de faire traverser le champ par des rayons parallèles aux lignes de force.

Le fil, de 1^{mm} de diamètre, pesait $6^{kg},150$ et avait une résistance de $17^{ohms},3$; la longueur enroulée sur chaque électro est de 880^{m}; on en déduit qu'il fait environ 900 tours. On ne peut guère dépasser une intensité de 4^{amp} correspondant à un dégagement de 4^{cal} par minute, qui, réparties dans une masse de cuivre de $6^{kg},15$, en élèvent la température de près de 7°. La résistance des fils croît très rapidement, et il est impossible de maintenir un courant constant pendant le temps nécessaire à une série d'observations. On a observé les rotations d'un flint de 1^{cm} d'épaisseur. Avec deux courants dont les intensités étaient dans le rapport de 175 à 301, les rotations ont été de 2°,78 à 4°,85, proportionnelles aux courants (dont l'intensité était de $4^{amp},3$ dans la dernière expérience). En admettant cette proportionnalité dans une série d'observations, on a pu réduire les rotations observées et les ramener à ce qu'elles auraient été pour un courant constant.

Les rotations qu'on se proposait d'observer dans des directions presque perpendiculaires aux lignes de force devaient être faibles; malgré la précision que donne l'emploi du polarimètre à pénombre et de la lumière monochromatique, il fallait donc employer, sous une grande longueur, une matière douée d'un pouvoir spécifique énergique. La trempe du flint est un obstacle à son emploi. Pour les liquides suivants, choisis parmi les plus réfringents : essence de girofle, acétophénol, toluène monobromé, le pouvoir rotatoire est inférieur à celui du sulfure de carbone; une dissolution concentrée de borotungstate de cadmium, d'une densité de 3,4, qu'avait bien voulu nous donner M. Klein, a un pouvoir rotatoire de 10 pour 100 seulement supérieur à celui de l'eau; la naphtaline monobromée a un pouvoir rotatoire supérieur de 15 pour 100 à celui du sulfure de carbone; enfin la solution de biiodure de mercure dans l'iodure de potassium, connue des minéralogistes sous le nom de *liqueur de Thoulet,* a un pouvoir rotatoire qui peut atteindre dix fois celui de l'eau lorsqu'elle est saturée. Ce liquide présente une transparence suffisante pour la lumière jaune du sodium.

Un tube, de 30^{cm} de longueur, rempli de cette solution, a été placé dans le champ magnétique des deux électro-aimants ci-dessus, dont les noyaux étaient écartés de $6^{cm},4$; le tube, placé horizontalement à la hauteur du milieu des noyaux, était monté sur une alidade de $23^{cm},77$ de long dont l'extrémité se mouvait sur un papier quadrillé ; la lecture x de l'index de l'alidade, diminuée de la lecture x_0 correspondant à $\beta = 0$, donnait

$$x - x_0 = 23^{cm},77 \sin \beta.$$

Un tube de $4^{cm},98$ de long, faisant corps avec le précédent et formant croix avec lui, permettait d'observer, à travers les trous percés dans les noyaux, la rotation dans la direction des lignes de force; les rotations ainsi observées sont affectées de la lettre (T). Dans le Tableau ci-dessous, on a désigné par 2ω la rotation (double) observée; par $2\omega'$ la rotation corrigée de l'effet des verres et ramenée à la valeur qu'elle aurait eue pour un courant de 4^{amp} dans chaque électro-aimant.

Int.	Index. x.	Double rotation 2ω.	$2\omega'$.	$2\rho_1$.	$2(\rho_1 - \omega')$.
	°	°	°	°	°
4,67.....	3,0 (T)	31,58	27,04	»	»
4,65.....	0,23	19,03	16,37	18,95	2,58
4,60.....	1,0	15,24	11,52	13,72	2,20
4,57.....	2,0	6,24	5,48	6,93	1,45
4,57.....	3,0	0,17	0,14	0,14	0
4,57.....	4,0	— 6,00	— 5,24	— 6,65	—1,41
4,50.....	5,0	—12,70	—11,29	—13,44	—2,15
4,50.....	5,3	—14,93	—13,38	—15,49	2,10
4,43.....	3,0	30,12	27,20	»	»
4,37.....	3,0 (T)	29,53	27,04	»	»

La courbe, ayant $2\omega'$ pour ordonnées et x pour abscisses, coupe l'axe des x au point $x_0 = 3,02$, correspondant à une rotation nulle et à $\beta = 0$. Il est évident que $\frac{2\omega'}{x - x_0}$, et par suite

$$\frac{[\omega]}{\beta} = \frac{\omega'}{30} : \frac{x - x_0}{23,77},$$

tend vers une limite finie quand β tend vers zéro, limite que l'on trouverait égale à $2°,07$ pour cette série. La double réfraction signalée par M. Cornu doit donc exister.

La colonne liquide ayant été placée dans la direction perpendiculaire aux lignes de force, la section principale du polariseur, verticale dans toutes les expériences précédentes, a été placée à 45° et il a été impossible de voir trace d'un changement dans la polarisation de la lumière émergente en faisant passer le courant.

Il était naturel de comparer les résultats de ces expériences aux rotations calculées d'après la loi de Verdet. D'après cette loi, dans un champ uniforme, les rotations auraient dû être rigoureusement proportionnelles à $x - x_0$; de plus, la rotation transversale 2ω étant $k \times 4{,}98$, la rotation dans le long tube devrait être

$$k \times 30 \times \sin\beta = k \times 30 \frac{x - x_0}{23{,}77};$$

déduisant la valeur de $k = 5^\circ{,}36$ des observations transversales, on a calculé les rotations $2\rho_1$ par cette formule, et ces valeurs calculées $2\rho_1$ dépassent très notablement les valeurs réduites $2\omega'$.

I.	x.	2ω.	$2\omega'$.	$2\rho_1$.	$2(\rho_1 - \omega')$
	c	o	o	o	o
8,95 = 4^amp^,475....	3,00(T)	17,75	15,55	»	»
8,85..............	0,38	16,96	15,30	16,47	1,17
8,75..............	1,00	12,26	11,09	12,50	1,31
8,55..............	2,00	5,57	5,21	6,09	0,88
8,55..............	3,00	— 0,06	— 0,06	— 0,32	—0,26
8,45..............	3,00(T)	16,82	15,43	»	»
8,40..............	4,00	— 6,00	— 5,70	— 6,73	—1,03
8,40..............	5,00	—12,30	—11,70	—13,14	—1,44
8,38..............	5,35	—14,69	—14,00	—15,38	—1,38
8,30..............	3,00	—16,54	—15,64	»	»

Dans une autre série d'expériences faites avec un tube de même longueur, mais avec une branche transversale plus courte ($3^{cm}{,}06$) et rapportée ci-dessus, on retrouve la même allure pour les valeurs de $2\omega'$; mais la valeur de k est notablement plus faible ($5^\circ{,}06$) et les excès $2(\rho_1 - \omega')$ moins grands aussi. La différence entre les deux valeurs de k prouve que le champ n'est pas suffisamment uniforme dans la direction des lignes de force passant par le centre de l'appareil. On a vérifié directement ce défaut d'uniformité au moyen d'une bobine et par le procédé optique. Un flint de 1^{cm}, placé contre les noyaux, donnait une rotation de $3^\circ{,}77$; placé au centre du champ, il donnait une rotation

de $3^o,12$. Le rapport 1,2 de ces rotations a été trouvé indépendant de l'intensité du champ. Ce champ n'est pas uniforme non plus dans le sens de la longueur des électro-aimants; dans le plan médian, à égale distance des noyaux, mais à 15^{cm} du centre, le même flint donnait une rotation de $2^o,74$, tandis que contre les noyaux, à la même distance du centre, la rotation était de $3^o,80$. L'examen des lignes formées par la limaille montre d'ailleurs que, vers les extrémités des noyaux et dans la région parcourue par l'extrémité du tube, les lignes de force ont une courbure très notable.

Pour se rapprocher des conditions où la loi de Verdet s'applique sous la forme ci-dessus, qui exige que les lignes de force soient parallèles entre elles, on était donc conduit à utiliser une portion plus restreinte du champ; on a employé alors un tube de $20^{cm},39$ de long, ayant également une branche transversale plus courte, de $2^{cm},01$; ce qui a donné les résultats ci-dessous :

I.	x.	2ω.	$2\omega'$.	$2\rho_1$.	$2(\rho_1-\omega')$.
	c	o	o	o	o
83,2 = 3^{amp},81...	3,00(T)	9,55	9,78	»	»
83,0...........	0,35	9,77	10,26	10,44	0,18
81,7...........	1,00	7,08	7,54	7,76	0,22
80,8...........	2,00	3,26	3,50	3,63	0,13
79,9...........	3,00	—0,36	—0,39	—0,50	—0,11
79,8...........	3,00(T)	9,01	9,62	»	»
77,0...........	4,00	—4,01	—4,54	—4,63	—0,09
76,5...........	5,00	—7,55	—8,59	—8,76	—0,21
75,8...........	3,00(T)	8,60	9,66	»	»

Si l'on excepte la lecture évidemment erronée correspondant à l'index $= 3^{cm}$, les rotations réduites $2\omega'$ sont proportionnelles à $(x - x_0)$ avec $x_0 = 2,88$; la valeur de $k = 4,82$ déduite des observations transversales est encore plus petite que précédemment et les écarts $2(\rho_1 - \omega')$, considérablement réduits, ne dépassent pas 2 pour 100 des valeurs observées; de la moyenne des observations du long tube on déduirait $k = 4,73$. Il est probable que l'écart entre le calcul et l'observation tient encore à un léger défaut dans l'uniformité du champ; il suffirait, en effet, que la force qu'on a vue diminuer dans le rapport de 1,2 à 1 en s'éloignant du centre à 15^{cm} dans le plan médian fût plus faible dans le rapport de 1,02 à 1, au point situé à 10^{cm} du centre, qu'au centre même.

L'écart entre l'observation et le calcul, basé sur la loi de Verdet appliquée à un champ uniforme, est donc d'autant moins grand que le champ se rapproche davantage de l'uniformité; le sens de ces écarts est conforme à ce que l'on sait de la constitution du champ, dont les lignes équipotentielles sur le plan horizontal de symétrie sont toutes concaves vers le noyau le plus proche, sauf la ligne passant par le centre qui est droite.

On peut, en profitant de cette propriété du plan médian, vérifier la loi de Verdet par un procédé indirect sans s'occuper de l'uniformité du champ; il résulte en effet de la loi que les rotations produites ne dépendent que de la différence des valeurs du potentiel magnétique aux deux extrémités du trajet parcouru dans le milieu. Par suite, si C est le centre de l'appareil, un tube de longueur CB donnera la même rotation que le tube BA limité à un point A du plan médian. L'expérience n'a pas été faite sous cette forme simple, mais on a mesuré le rapport des rotations produites à travers une cuve d'iodomercurate de $1^{cm},4$, déplacée au centre ou à 15^{cm} de celui-ci; dans le plan médian (intensité du courant non mesurée) les rotations étaient $8^{o},13$ au centre et $7^{o},13$ à 15^{cm}; le rapport, 1,14; d'après le Tableau de la seconde série, un tube de 30^{cm} de long ayant ses extrémités à $0^{cm},7$ du plan médian, d'où

$$x = 2,88 \pm 1,11,$$

aurait donné une rotation de

$$5^{o},36 \times 1,11 = 6^{o},95$$

dans le champ produit par un courant de 4^{amp}, champ qui, d'après le troisième Tableau, aurait donné une rotation de

$$\frac{9,69 \times 1,4}{2,01} = 6,75$$

dans une cuve de $1^{cm},4$ placée au centre; le rapport

$$6,75 : 5,95 = 1,13$$

est, dans les limites des erreurs d'observation, égal au précédent.

Instrument pour la démonstration expérimentale de la théorie du grossissement des appareils dioptriques, par M. E. Mergier.

Dans la séance du 1er juin 1883, M. Guébhard exposait devant la Société la théorie mathématique ([1]) du grossissement de la loupe sous une forme un peu particulière qu'il étendait ensuite à tous les appareils dioptriques. Abandonnant l'ancienne définition, il prenait pour grossissement le rapport de l'image rétinienne de l'objet vu sans instrument à l'image rétinienne de l'objet vu à travers l'instrument grossissant, dans les meilleures conditions possibles. Quelque temps après, M. Gariel, reprenant la question au point de vue géométrique, indiquait des constructions simples qui mettaient en évidence les données fournies par l'interprétation mathématique et en permettaient l'introduction dans l'enseignement élémentaire.

On peut résumer comme il suit les résultats théoriques obtenus :

1° Le centre optique de l'œil étant placé au delà du premier foyer de l'instrument grossissant, le maximum de grossissement est obtenu lorsque l'objet est le plus près possible du second foyer (au foyer même pour l'œil emmétrope).

2° Si le centre optique de l'œil est entre l'instrument et son foyer, on a le maximum de grossissement en rapprochant l'objet le plus près possible de l'objectif.

3° Enfin, dans le cas où il y a coïncidence entre le premier foyer de l'instrument et le centre optique de l'œil, la position de l'objet est indifférente au grossissement.

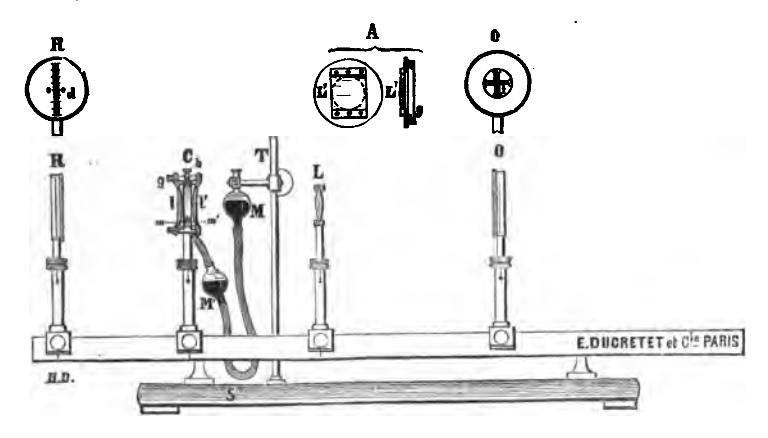
La question ainsi réduite à des données simples et précises, la vérification expérimentale était tout indiquée.

Sur une règle métallique fixée horizontalement au-dessus d'une planchette en bois sont placés, munis de supports appropriés pouvant se déplacer longitudinalement : 1° un œil artificiel C; 2° une lentille L faisant fonction de loupe; 3° un objet O formé

([1]) Voir *Séances de la Société de Physique*, année 1883, p. 122.

par deux tiges étroites placées en croix dans l'ouverture circulaire d'un anneau métallique.

L'œil artificiel se compose d'un écran rétine R en verre dépoli, portant des divisions millimétriques, et d'une lentille du Dr Cusco modifiée de la façon suivante : Dans la monture métallique où sont enchâssées les deux lames de verre minces qui composent cet appareil, ont été ajoutées, de part et d'autre, deux lentilles convergentes plan-convexes de même puissance *ll'*; ces lentilles, outre qu'elles protègent les lames de verre minces ont pour but



d'atténuer autant que possible les déplacements des points nodaux du système, sous l'influence de l'accommodation. On remplace avantageusement les lames de verre trop fragiles par des lames de mica convenablement clivées, lesquelles offrent plus de résistance à la pression, tout en laissant à l'image une netteté suffisante pour la démonstration que l'on se propose. De plus, nous avons pris comme instrument grossissant le plus simple de tous, la loupe, car il eût été sans intérêt de compliquer l'appareil par le choix d'un instrument plus complexe. La théorie montre, en effet, que les conditions du grossissement sont les mêmes quel que soit le système dioptrique considéré.

Remarquons enfin que, les supports étant mobiles sur la règle horizontale, on peut, à volonté, constituer un œil emmétrope myope ou hypermétrope. Des traits de repère permettent d'arriver rapidement à ces réalisations

Le centre optique de l'œil est au delà du foyer de la loupe. — Pour vérifier ce premier cas, l'œil étant emmétrope, on place la loupe à une distance convenable et on fait occuper successivement à l'objet différentes positions par rapport au deuxième foyer de celle-ci. L'examen de l'image rétinienne rendue nette au préalable par l'accommodation, montre que le grossissement est le plus fort possible lorsque l'objet est au foyer de la loupe.

Si l'on se place dans le cas de l'œil myope, l'objet ne peut plus atteindre la position du foyer; il peut, au contraire, dépasser cette position si l'œil est hypermétrope.

Ces expériences viennent donc confirmer la théorie, en montrant que le maximum de grossissement est atteint lorsque l'image virtuelle est au *punctum remotum* de l'œil considéré et que celle-ci ne doit jamais dépasser les limites de la vision (*punctum proximum, punctum remotum*). On peut remarquer aussi que l'œil hypermétrope est celui qui retire le plus de bénéfice de l'instrument, et l'œil myope celui qui en retire le moins, résultats prévus d'ailleurs par la théorie.

Ce cas est souvent réalisé dans la pratique pour nombre d'appareils dioptriques. Pour ne parler que du plus généralement usité, le microscope, une vieille habitude fait dire, voire même enseigner, encore aujourd'hui, que l'image virtuelle examinée par l'œil se trouve située (selon une expression impropre) à la distance de la vision distincte (*punctum proximum*). C'est là, nous le voyons, une erreur grossière que l'expérience aussi bien que la théorie réfute d'une façon évidente.

Le centre optique de l'œil est entre la loupe et son foyer. — Ce cas se vérifie d'une façon analogue au précédent. L'œil artificiel étant réglé pour la vision à l'infini, on place la loupe très près du système optique et l'on fait occuper à l'objet différentes positions par rapport à son premier foyer. — On remarque alors que l'image rétinienne devient d'autant plus grande que l'objet est plus rapproché de la loupe; la limite du grossissement correspondant à la position de l'image virtuelle au *punctum proximum*. C'est exactement l'inverse du cas précédent.

On peut remarquer, au cours de cette expérience, que, pour

une même position de l'objet par rapport à la loupe, l'image rétinienne est plus grande que dans le premier cas.

Donc, le grossissement est d'autant plus faible, toutes choses restant d'ailleurs dans le même état, que l'œil est plus éloigné de la loupe.

Dans la pratique, ce cas se présente pour les instruments à longue distance focale, tels que, par exemple, les loupes d'horlogers. On pourrait encore citer les verres correcteurs pour hypermétropes et presbytes.

Le centre optique de l'œil coïncide avec le foyer de la loupe. — Pour éviter les tâtonnements dans la réalisation de ce troisième cas, la tige porte un trait qui indique la position que doit occuper la loupe. Cela étant, on voit que l'image rétinienne reste la même quelle que soit la position de l'objet par rapport à l'instrument grossissant.

Ce cas offre un intérêt purement théorique. Dans la pratique, en effet, la coïncidence dont nous venons de parler ne se trouve jamais réalisée, sauf peut-être dans des cas tout à fait fortuits et passagers. D'ailleurs, le déplacement des points nodaux de l'œil (centre optique) sous l'influence de l'accommodation, rend cette réalisation impossible.

Enfin, la question du grossissement étant mise à part, nous ferons remarquer que l'appareil peut encore servir à toutes les expériences relatives à la vision, dans le cas de l'œil normal et des différentes amétropies. Il suffit, pour cela, de supprimer la lentille loupe. Il reste alors, en présence d'un objet, un œil artificiel qui s'accommode et qui peut être rendu à volonté myope ou hypermétrope. On peut aussi le rendre presbyte en empêchant l'accommodation d'atteindre son maximum normal. L'astigmatisme lui-même peut être réalisé au moyen d'une lentille cylindrique L' s'adaptant sur le système optique de l'œil artificiel.

Qu'il me soit permis, en terminant, de remercier ici M. Ducretet du soin qu'il a bien voulu apporter à la construction de cet appareil, et d'émettre le vœu que la question du grossissement présentée sous cette forme simple soit bientôt tirée de l'oubli où elle semble tombée depuis les Communications de M. Guébhard et de M. Gariel, pour être enseignée dans nos écoles. Si l'appareil que je

viens d'avoir l'honneur de présenter à la Société peut, à ce sujet, rendre quelques légers services, le but que je me suis proposé en le faisant construire sera atteint.

Saccharimètre à franges et à lumière blanche;

par MM. Th. et A. Duboscq.

Tout saccharimètre optique est composé d'un *polariseur* et d'un *analyseur*, mis à l'extinction (c'est-à-dire dont les sections principales sont croisées à angle droit), et d'un *polariscope* rotatoire utilisant l'observation d'un phénomène particulier au polariscope que l'on a choisi.

Dans notre appareil nous avons fait usage du polariscope de de Senarmont, dont nous avons modifié les angles pour lui donner une très grande sensibilité. Il est formé de deux systèmes égaux et inverses, composés chacun de deux prismes en quartz taillés perpendiculairement à l'axe et de rotation contraire. Ainsi constitué, ce polariscope étant placé entre deux nicols à l'extinction, on observe deux *franges noires et droites* situées exactement dans le prolongement l'une de l'autre (*fig*. 1). Ces franges se forment au point où les épaisseurs de quartz droit et gauche sont égales; la rotation du plan de polarisation est alors nulle.

Fig. 1.

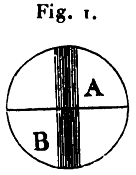
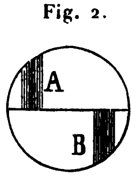


Fig. 2.



Si l'on introduit une substance douée d'un pouvoir rotatoire (droit par exemple), les franges seront déplacées en sens inverse l'une de l'autre (*fig* .2). Pour les ramener en ligne droite, il faudra ajouter une quantité de quartz gauche équilibrant le pouvoir rotatoire droit de la substance interposée. Ce résultat sera obtenu par le jeu des lames prismatiques d'un compensateur en quartz, et le

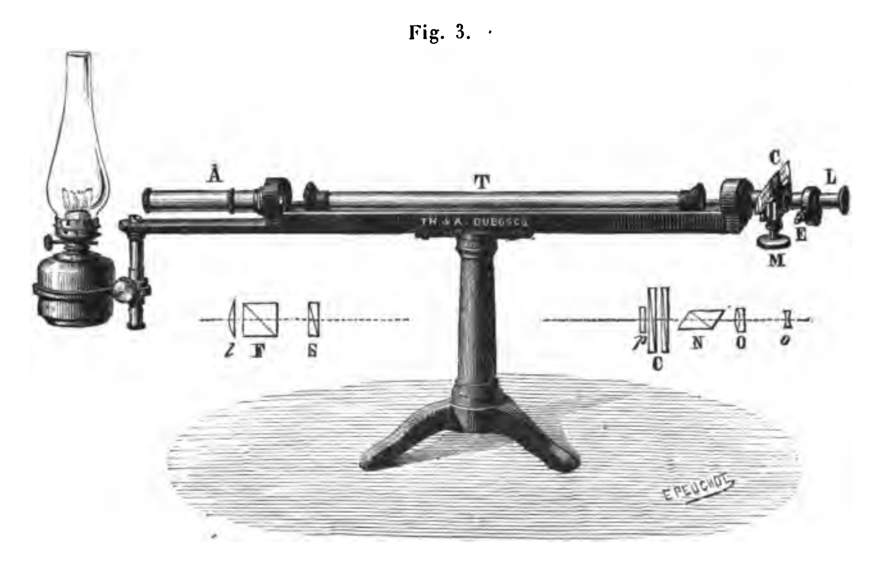
nombre de divisions que le compensateur aura parcourues pour ramener les franges exactement en ligne droite permettra de déterminer la proportion de sucre contenu dans la liqueur analysée.

Description de l'appareil. — La partie optique est composée de la façon suivante (*fig.* 3) :

l, lentille servant à éclairer uniformément tout le champ du polariscope;
F, polariseur Foucault;
S, polariscope de Senarmont.

Ces trois pièces sont contenues dans la monture A.

Fig. 3.



T, tube contenant le liquide à analyser;
C, compensateur à lames prismatiques en quartz gauche;
p, lames à faces parallèles en quartz droit équilibrant au point zéro la somme des épaisseurs des lames prismatiques en quartz gauche;
N, nicol analyseur;
O, *o*, objectif et oculaire de la lunette de Galilée L;

M, bouton faisant mouvoir les lames du compensateur et par suite l'échelle divisée ;
E, vis de réglage à tête carrée pour le rappel au zéro.

Réglage. — Cet appareil permet d'employer la lumière blanche : les rayons lumineux sont alors fournis par une simple lampe à pétrole à mèche plate.

On commence par placer la lampe sur son support fixé à l'extrémité de l'appareil et à la régler en tous sens, de façon que la flamme vue sur la tranche, et non pas sur la partie large, soit rigoureusement dans le prolongement de l'axe optique de l'instrument; les franges apparaissent alors avec beaucoup de finesse et de netteté.

Le placement de la lampe doit être fait avec beaucoup de soin, sans quoi les franges paraissent larges, irrégulières, troubles et les parties brillantes formant le champ de vision sont inégalement éclairées. Afin d'éviter des tâtonnements ennuyeux, nous traçons sur la lampe et sur son support des traits de repère qui permettront d'effectuer ce réglage très rapidement.

On met ensuite la *lunette au point,* en tirant la bague molletée portant l'oculaire *o* de la lunette L, de façon à voir bien nettement la ligne de séparation des deux demi-disques AB (*fig.* 1) contenant les franges.

Au moyen du bouton M, on amène le zéro du vernier en coïncidence avec le zéro de l'échelle divisée; on reporte l'œil à la lunette pour voir si les franges sont exactement en ligne droite comme à la *fig.* 1. Si, au contraire, les franges sont déplacées d'une quantité aussi faible qu'elle soit, on les ramènera exactement en ligne droite en tournant l'analyseur à l'aide de la vis E placée sur le côté du tambour auquel est attachée la lunette.

Ce réglage peut être fait sans tube sur l'appareil ou avec un tube contenant seulement de l'eau pure.

Mesure. — L'appareil ainsi réglé au zéro et les franges mises bout à bout (*fig.* 1), si l'on place un tube contenant une solution sucrée, les franges sont déplacées (*fig.* 2); il suffit alors de faire marcher le *compensateur* à l'aide du bouton M jusqu'à ce que les franges soient de nouveau en ligne droite : puis on lit sur l'échelle

le nombre de degrés parcourus. Notre saccharimètre porte *deux divisions :* celle du dessous (commune à tous les saccharimètres) correspond au centième de millimètre d'épaisseur de quartz; celle du dessus indique le nombre de grammes de sucre contenu dans 100^{cc} de solution, en sorte que le point 100 de la division inférieure correspond pour la division supérieure à $16^{gr},20$, poids normal indiqué par MM. A. Girard et V. de Luynes.

Les sirops trop colorés doivent être décolorés par l'addition de $\frac{1}{10}$ en volume de sous-acétate de plomb liquide; dans ce cas on ajoute $\frac{1}{10}$ au nombre trouvé sur l'échelle.

Remarque. — On sait que la *trempe* ou la *compression* des galets de verre qui ferment les tubes dans lesquels on introduit les liquides à analyser est souvent une cause d'erreur dans les observations de saccharimétrie optique.

Dans notre appareil cette erreur ne se produit pas, et il est facile d'en faire l'examen de la façon suivante : l'appareil étant réglé au zéro, on prend un tube vide dont on comprime les galets, on place ce tube sur l'appareil : on voit alors que les franges sont élargies et ont perdu toute netteté; mais, en tournant le tube sur lui-même, on trouve toujours une position suivant laquelle les franges reprennent leur finesse et leur netteté; on observe alors que le zéro optique n'a pas varié, c'est-à-dire que les franges sont exactement en ligne droite comme primitivement.

Toutefois, cette compression ne doit pas aller jusqu'à déformation notable des surfaces, car, en ce cas, il n'y a plus de netteté possible, les franges se courbent, et le galet doit être rejeté.

Si le tube est plein de liquide sucré, il faudra, par conséquent, le tourner sur lui-même et choisir la position où les franges sont nettes en cas de trempe ou de compression des galets.

SÉANCE DU 19 MARS 1886.

PRÉSIDENCE DE M. SEBERT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 5 mars est lu et adopté.

M. le Président annonce la perte douloureuse que la Société vient de

faire par la mort de M. Félix Le Blanc, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, ainsi que celle de M. Lallemand, Membre correspondant de l'Institut, Doyen de la Faculté des Sciences de Poitiers.

M. LAURENT présente à la Société des *objectifs* exécutés au moyen de *méthodes pratiques*, permettant d'arriver sûrement à la limite possible. M. Cornu a bien voulu en calculer les courbes.

Pour exécuter un objectif, les conditions *principales* à remplir sont d'avoir des surfaces *sphériques* et bien *centrées*. Quand l'objectif essayé est reconnu mauvais, on ne sait si le défaut provient des surfaces, du centrage ou de la matière.

M. Laurent a cherché à distinguer ces différents cas.

Pour la *matière*, on n'a pas de règle précise pour la rejeter.

Surfaces. — On n'a rien pour les contrôler, dans les ateliers. M. Laurent a étendu la méthode des *anneaux colorés*, de M. Fizeau, aux *courbes;* mais ici les difficultés sont encore plus grandes que pour les surfaces planes. Ces anneaux montrent si la surface comparée à un *type* est plus concave ou plus convexe, si elle est de révolution, si le centre est *creusé* et les bords *rabattus*, etc.

Types. — Pour les faire, on travaille deux surfaces (une concave et une convexe), on les polit très peu, juste assez pour voir les anneaux et déformer les surfaces le moins possible; on les examine sur un appareil à lumière monochromatique spécial, de M. Laurent, et l'on affecte à chacune des deux surfaces la moitié des erreurs constatées; elles ne dépassent pas ici $\frac{1}{3}$ de micron.

Si le foyer des rayons d'interférences, réfléchis par les surfaces en contact, est compris entre $0^m,20$ et $0^m,40$, on voit les anneaux directement; s'il est plus petit, on interpose entre les surfaces et l'œil une lentille divergente ordinaire; s'il est plus grand, une lentille convergente. On a une latitude pour leurs foyers; les supports se déplacent en conséquence.

Centrage des surfaces. — Une surface est polie et l'autre *préparée;* pour voir si les bords sont de même épaisseur, M. Laurent a imaginé un *comparateur optique.* C'est un support incliné sur lequel le verre repose au moyen de trois pointes et s'appuie sur deux arrêts inférieurs; on tourne le verre sur lui-même; s'il n'est pas d'égale épaisseur, il fera osciller une équerre portant un miroir, le support est placé sous une lunette à *autocollimation;* l'image des fils éclairés, après réflexion sur le miroir, vient se former sur eux-mêmes; le déplacement de l'image indique les différences d'épaisseur; l'amplification est de 800 fois.

Essais des objectifs. — Le procédé le plus *commode* est l'emploi du *focomètre Laurent.* On essaye l'objectif *sans monture*, par tous les temps; les défauts sont *doublés;* on juge de l'achromatisme, de l'astigmatisme, etc.

Les objectifs présentés ont $0^m,070$ de diamètre et $0^m,735$ de foyer.

M. Laurent donne des explications sur ses appareils et ses méthodes, au moyen de figures sur le tableau.

A la fin de la séance, il fait voir au moyen de son focomètre, qui porte un microscope grossissant 30 fois et des divisions sur verre au $0^{mm},01$, que l'image *réfléchie* par l'objectif est très nette et démontre qu'il est tout près de la limite assignée par Foucault pour le *dédoublement* des images des objectifs.

M. le colonel SEBERT entretient la Société de quelques résultats curieux obtenus accidentellement dans le tir de projectiles à avant légèrement bombé, lancés à petite distance contre des plaques minces de cuivre rouge.

Dans une première expérience effectuée avec un canon de $0^{m},24$ et un projectile cylindrique en acier terminé par une calotte sphérique de $0^{m},02$ de flèche, un projectile de 144^{kg} fut lancé avec une vitesse de 400^{m} contre une plaque de 8^{mm} d'épaisseur placée verticalement à $0^{m},62$ de la bouche à feu. Le projectile découpa dans la plaque un disque d'un diamètre égal au sien qui fut retrouvé dans la chambre à sable adhérent à sa calotte antérieure dont il avait épousé la forme. L'adhérence était telle que les deux pièces ne purent être séparées qu'à l'aide d'un burin.

La face de la rondelle en contact avec le projectile était sillonnée, à partir du tiers environ du rayon et jusqu'au bord de la rondelle, de stries ou ondes concentriques, régulières et de dimensions croissantes avec le diamètre. Une quarantaine de lignes radiales régulièrement espacées coupaient normalement ces ondulations. Au centre, la plaque restée lisse et polie portait les traces d'une forte élévation de température. Cette partie lisse était bordée d'une zone noire formée par un dépôt charbonneux provenant des gaz de la poudre. Les ondulations apparaissaient dans cette zone à peine perceptibles d'abord, puis croissant jusqu'à atteindre près des bords une largeur de 5^{mm} et une profondeur de $1^{mm},8$.

L'autre face de la rondelle était restée lisse; l'épaisseur du métal était réduite à $6^{mm},5$.

La face avant du projectile d'acier portait l'empreinte exacte des ondulations de la plaque, de sorte que l'on est conduit à admettre que, par suite de leur grande vitesse, au moment où la rencontre du projectile les a saisies dans leur mouvement ondulatoire, les particules de cuivre ont creusé leur logement dans l'acier.

Avec des plaques de cuivre de 4^{mm} d'épaisseur, les résultats furent identiques, quoique un peu moins nets, parce que les rondelles étaient souvent déchirées.

Des essais méthodiques furent entrepris avec un canon de $0^{m},10$ pour étudier les lois du phénomène. Les projectiles en fonte s'étant toujours brisés, on eut recours à des projectiles garnis à l'avant d'une mise d'acier de 2^{cm} à 3^{cm}. Lorsque la mise était plane, elle était constamment brisée sans donner trace d'empreintes : on fut par suite conduit à lui donner la forme d'une calotte de $0^{m},02$ de flèche. Les plaques de cuivre placées verticalement à $0^{m},27$ de la bouche eurent des épaisseurs variables de 2^{mm} à 8^{mm}. La vitesse initiale varia de 400^{m} à 510^{m}.

Dans ces conditions on retrouva sur les plaques et sur les mises des empreintes identiques à celles décrites précédemment : centre lisse, zone noire et ondulations croissantes; seulement les ondulations s'arrêtaient avant d'avoir atteint le bord de la plaque, parfois elles reprenaient après une interruption.

M. le colonel Sebert a dû interrompre ces expériences avant leur complet achèvement, mais il a tenu à rendre dès maintenant compte à la Société des résultats qu'il a déjà obtenus.

Dans l'état actuel des expériences, il croit pouvoir expliquer les phénomènes observés par un véritable écoulement du cuivre, écoulement produit du centre à la circonférence sous l'action de l'énorme pression développée d'abord dans la partie centrale de la plaque par l'avant bombé du projectile. Les ondes seraient produites successivement par les pressions qui s'exercent sur le cuivre dans des zones concentriques, tandis que s'accroît la surface de contact des deux corps, et leurs dimensions iraient en augmentant du centre à la circonférence par suite de la durée croissante qui s'écoule entre le premier choc et le contact du projectile avec les divers points d'un même rayon. Les sillons rayonnants seraient des plis résultant de l'application de la surface plane de la plaque sur la sphère qui limite le boulet.

Pour une vitesse du projectile de 400^{m} le phénomène se passe tout entier en $\frac{1}{20000}$ de seconde.

Dans le cas du projectile de $0^{m},24$ les ondulations doivent se propager avec une vitesse de 2400^{m} à la seconde. Cette très grande vitesse permet de s'expliquer que le mouvement des particules de cuivre ait pu creuser l'acier du projectile.

M. d'Arsonval présente à la Société un galvanomètre à circuit mobile, de haute sensibilité, qu'il a disposé pour ses recherches physiologiques.

On sait que, dans le galvanomètre Deprez dit *à arête de poisson*, M. d'Arsonval avait eu l'idée de fixer l'arête et de rendre le cadre libre : c'est le galvanomètre Deprez-d'Arsonval. Cet instrument, tel que le construit M. Carpentier, n'est pas assez sensible pour les besoins de la Physiologie.

Le nouveau dispositif présenté par M. d'Arsonval consiste à faire mouvoir le cadre galvanométrique dans un champ magnétique formé par deux aimants en fer à cheval, opposés par leurs pôles de même nom et bout à bout. Entre les quatre pôles se trouve un bloc de fer doux fixe, destiné à concentrer les lignes de force et à former quatre champs magnétiques agissant sur le cadre d'une manière concordante. Le tout est fixé sur une planchette qui se suspend au mur par un simple clou. Le fil de torsion s'attache au cadre par des vis et à la planchette par un treuil, de façon que son remplacement est des plus faciles.

Dans cet instrument, les champs magnétiques étant rigoureusement d'égale intensité, les déviations sont rigoureusement proportionnelles aux intensités. De plus on peut changer l'intensité des champs magnétiques, c'est-

à-dire la sensibilité de l'instrument, en éloignant les aimants plus ou moins. Ce galvanomètre jouit des mêmes propriétés apériodiques que le premier modèle de l'auteur.

L'instrument présenté à la Société a les constantes suivantes :

Résistance du cadre = 2 ohms.

En faisant la lecture au miroir à un mètre avec l'échelle Carpentier,

$$1 \text{ division de l'échelle} = \frac{1}{2\,100\,000} \text{ d'ampère.}$$

Une simple soudure en fer-maillechort donne 30 divisions de l'échelle pour une différence de température de 1°.

Le modèle à fil fin a 2000 ohms de résistance :

$$1 \text{ division} = \frac{1}{70\,000\,000} \text{ d'ampère.}$$

Cette sensibilité devient dix et vingt fois plus grande en employant l'échelle micrométrique décrite à la dernière séance par M. d'Arsonval.

M. d'Arsonval indique ensuite l'emploi des accumulateurs pour remplacer la pile dans la méthode de Poggendorff et du Bois-Reymond. M. d'Arsonval a vu un accumulateur donner pendant dix jours un courant de 1 ampère sans la moindre variation de la force électromotrice. On peut même charger l'accumulateur d'un côté pendant qu'il se décharge de l'autre, sans que la différence de potentiel soit troublée sensiblement. Dans ce cas M. d'Arsonval remplace l'accumulateur par un voltamètre à grande surface formé de deux lames de fer trempant dans une solution concentrée de potasse. C'est un excellent moyen pour avoir avec une pile quelconque, constante ou non, une différence invariable de potentiel.

Méthodes pratiques pour l'exécution des objectifs destinés aux instruments de précision; par M. Léon Laurent.

Mes objectifs sont exécutés au moyen de méthodes pratiques, que je vais exposer et qui permettent d'arriver pas à pas et sûrement à la limite *possible*. M. Cornu a bien voulu en calculer les courbes, après avoir mesuré les indices du crown et du flint; les surfaces ont été réussies d'emblée et je n'ai pas eu à y retoucher.

Il n'est question ici que des objectifs pour spectroscopes, télémètres, goniomètres, etc., dans lesquels il est nécessaire d'obtenir

des pointés très précis ou des dédoublements de lignes très rapprochées et non des grands objectifs astronomiques.

Il ne faut pas non plus songer à *retoucher* les surfaces, elles n'ont pas assez d'étendue et il faut opérer relativement vite; si la surface n'est pas reconnue suffisamment bonne, on la refait en entier.

Pour exécuter un objectif, le crown et le flint étant choisis et les courbures calculées, les conditions *principales* à remplir sont de faire des surfaces *sphériques* et bien *centrées*. L'objectif terminé, on l'essaye et l'on constate qu'il est bon ou mauvais; dans ce dernier cas, on est très embarrassé pour savoir où est le défaut et, par suite, comment y remédier; dépend-il des surfaces (il y en a quatre), de leur centrage ou de la matière?

J'ai cherché à distinguer ces différents cas.

Le crown et le flint sont examinés d'abord comme *matière;* on polit des facettes, on recherche s'il y a des fils, des points, on constate la trempe : il y en a toujours, mais malheureusement on n'a pas de règle précise pour savoir quand il faut les rejeter.

Surfaces. — La matière étant choisie, je considère les surfaces : c'est le point principal; or, dans les ateliers, on ignore ce qu'elles sont; on n'a rien pour les contrôler. Elles n'ont pas toujours le *rayon* que l'on pense. On sait, par expérience, que les bords sont *rabattus :* ils le sont toujours et plus ou moins, suivant la main de l'ouvrier; quelques praticiens, pour éviter ce défaut, tombent dans un autre qui consiste à creuser le centre, et l'on a souvent ces deux défauts réunis : la surface n'est pas sphérique; le sphéromètre, peu employé pour ces petits objectifs, est d'ailleurs insuffisant.

La méthode des *anneaux colorés* de M. Fizeau m'ayant donné de très bons résultats dans l'exploration des surfaces planes ([1]), j'ai cherché à l'étendre aux surfaces *courbes;* mais ici les difficultés sont encore plus grandes, à cause de la densité des courbes.

J'ai disposé l'appareil (*fig.* 1).

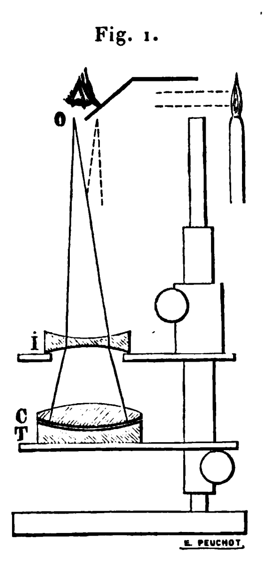
Cliché. — Soit, comme exemple, la surface d'un crown C à con-

---

([1]) Voir *Seances de la Société de Physique,* annéc 1883, p. 770.

trôler. Je suppose que l'on possède un type T concave ; on place le crown sur le type T. Si les rayons d'interférence réfléchis par les deux surfaces en contact, T et C, ont leur foyer dans les environs de O, où l'on place l'œil, on verra les anneaux directement, mais le plus souvent il n'en est pas ainsi ; si le foyer est plus bas que O, on interposera une lentille divergente I, et, s'il est plus haut, une

Fig. 1.



lentille convergente. On peut employer des lentilles courantes, non achromatiques ; on a aussi une certaine latitude pour leurs foyers, car on peut faire varier la place de cette lentille et celle de la surface à examiner.

Quand on s'est familiarisé avec l'usage des *anneaux colorés,* on se rend compte d'un coup d'œil de la valeur d'une surface, comparée à un type connu. Suivant le nombre des anneaux révélant une forme plus concave ou plus convexe, leurs écartements, on voit si la surface est de *révolution,* comment varie le rayon de courbure du centre aux bords, c'est-à-dire si le centre est *creusé,* les bords *rabattus,* etc. En pressant légèrement les surfaces, on obtient à volonté des anneaux ou des *franges ;* ces dernières montrent le profil (très agrandi dans le sens des ordonnées) de la *coupe* de la surface ; ces indications sont précieuses et complètent celles données par les anneaux.

Types. — On ne peut faire pour chacun d'eux les sacrifices que l'on fait pour un plan type unique; dans ce cas, il suffit de travailler une fois trois surfaces, tandis que pour *chaque* type de courbe il faudrait travailler quatre surfaces et les comparer deux à deux, ce qui entraînerait beaucoup trop loin, mais avec des précautions on peut arriver à un bon résultat. On travaille deux surfaces (une concave et une convexe), on les polit très peu, juste assez pour voir les anneaux; de cette façon les surfaces sont déformées le moins possible et on les examine sur l'appareil (*fig.* 1); on n'est pas loin de la vérité en affectant à chacune la moitié des déformations constatées, il suffit qu'elles soient très faibles; or on peut répondre d'une surface à un anneau près, soit un tiers de micron; c'est une limite, car une légère différence de température suffit pour faire apparaître ou disparaître un anneau.

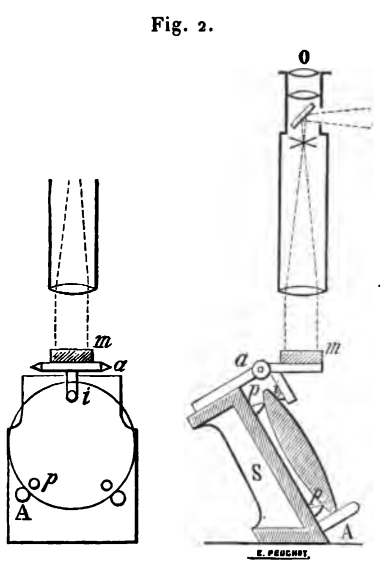
On peut simplifier en prenant pour l'une des deux surfaces une de celles de l'objectif lui-même et en faisant le type un peu plus grand de diamètre pour éliminer l'influence de ses bords. Les différences entre les surfaces exécutées et celles géométriques ne dépassent pas un anneau.

Centrage des surfaces. — Une des surfaces du crown ou du flint est polie et reconnue bonne, l'autre est *préparée;* il s'agit de voir si elle est bien centrée et si on peut la polir. Cette condition sera remplie si les bords sont rigoureusement de même épaisseur, le verre étant d'ailleurs débordé rond. Pour la vérifier, j'ai imaginé la disposition (*fig.* 2) qui peut s'appliquer à un grand nombre de cas.

Un support incliné, S, porte trois pointes : l'une est fixe et les deux autres sont mobiles, suivant le diamètre des verres; le verre est posé sur ces pointes et s'appuie sur deux arrêts inférieurs A qui lui donnent une position bien déterminée; à la partie supérieure, une équerre, mobile autour de l'axe *a*, porte deux bras : l'un s'appuie sur le verre par une pointe en ivoire *i*, l'autre porte un miroir *m*. Si l'on fait tourner le verre sur lui-même et s'il n'est pas d'égale épaisseur, l'équerre oscillera. Ce petit appareil est placé sous une lunette à *autocollimation,* semblable à celles que j'emploie dans mes appareils à contrôler les surfaces planes. Les fils de la lunette (*fig.* 2) sont éclairés sur le côté; leur image,

après réflexion sur le miroir *m*, vient se former sur eux-mêmes; les mouvements très amplifiés du miroir ont pour effet de déplacer cette image et, par suite, d'indiquer les différences d'épaisseur; c'est un *comparateur optique* dont le petit levier seul est matériel, le grand est égal au foyer de l'objectif de la lunette; l'*amplification* est doublée par la réflexion et multipliée par le grossissement de l'oculaire, égal ici à environ huit cents fois, ce qui est plus que suffisant.

Fig. 2.



Une ovalité dans le débordage n'aurait aucune influence sur la *détermination* des épaisseurs, si l'on a soin de placer les arrêts A à 45°. En faisant tourner le verre, on déplacerait son centre; au moyen d'une épure on verrait que le lieu géométrique du déplacement se confond avec un arc de cercle tracé du point *i* comme centre, de sorte que l'on mesure toujours les épaisseurs à une même distance du centre du verre.

Essais des objectifs. — Ici encore, il y a un choix à faire parmi les divers procédés en usage; généralement on vise une affiche ou une mire placée à une certaine distance; un moyen meilleur consiste à viser des objets se détachant sur le ciel, tels que

des tuyaux de cheminée, mais ces procédés ne sont pas toujours facilement applicables.

Le plus *commode* et le plus *précis* est l'emploi de mon *focomètre* (1). On peut opérer dans un espace très restreint; on essaye l'objectif *sans monture* et non biseauté par tous les temps; on apprécie de très faibles différences de foyers, ce qui permet d'explorer l'objectif dans différentes zones concentriques : le centre, les bords, etc., au moyen de diaphragmes; les défauts sont *doublés,* ce qui les rend très apparents; on peut éclairer avec des lumières diversement colorées et juger de l'achromatisme; l'emploi du quadrillé éclairé, sur fond noir, révèle facilement l'astigmatisme, etc.

A première vue, l'objectif est déjà presque complètement *jugé;* ensuite on fait usage des diaphragmes. Si l'on veut pousser plus loin et apprécier son degré de *pénétration,* on remplacera l'oculaire par un microscope et le quadrillé par des divisions fines connues.

Parmi une série d'objectifs exécutés et essayés au moyen de ces méthodes, les uns étaient très bons et les autres présentaient de l'astigmatisme; or les surfaces sont reconnues bien sphériques, le centrage est plus que suffisant, le défaut ne peut donc provenir que de la matière : non-homogénéité du verre, trempe irrégulière, et il faut, sans hésiter, rejeter le crown ou le flint reconnu mauvais pour ce but spécial, ou classer l'objectif dans un deuxième choix; ces défauts (relativement légers) ne pouvaient se constater d'*avance* et le moins bon de ces objectifs astigmatiques donne de bonnes images en visant une affiche ou une cheminée.

Avec les moyens ordinaires, on referait quelques surfaces un peu au hasard et sans obtenir d'améliorations; au contraire, peut-être.

J'ai tenu à vérifier si j'étais près de la *limite* assignée par Foucault pour le *dédoublement* des images des objectifs. J'ai alors remplacé l'oculaire du focomètre par un microscope grossissant trente fois et le quadrillé par des divisions au diamant sur verre. Les traits étant espacés de $0^{mm},01$, un objectif de 70^{mm} de dia-

---

(1) Voir *Séances de la Société de Physique,* année 1885, p. 52.

mètre et de 735^{mm} de foyer donne une image *réfléchie* très nette, et l'on voit qu'on peut aller plus loin ; cela équivaut à un dédoublement de 2″ environ; or la limite serait 1″,8 (on remarquera que l'objectif travaille ici deux fois).

Pour vérifier un objectif d'une provenance quelconque, on ne pourra contrôler les surfaces par la méthode des anneaux colorés, car les types correspondant à ses propres courbes n'existent pas, et pour les faire il faudrait avoir les outils mêmes qui ont servi à travailler cet objectif; on pourra avoir recours alors au *focomètre*.

On essayera d'abord l'objectif complet à la lumière ordinaire et au moyen des diaphragmes, puis on pourra essayer le crown et le flint séparément, avec la lumière monochromatique. Le crown sera posé sur le plan du focomètre comme à l'ordinaire, et le flint sur un miroir *concave* dont le rayon de courbure sera un peu plus petit que le foyer du flint. On peut aussi essayer directement la surface *concave* du flint agissant comme miroir concave.

MM. Cornu, Mascart et Wolf ont eu l'extrême obligeance de me confier quelques objectifs d'instruments appartenant à nos premiers établissements scientifiques, et de faire la comparaison avec moi. Quelques-uns ont été reconnus de suite franchement mauvais et d'autres bons; dans ceux-ci la différence de netteté, en passant du centre aux bords, a été un peu plus grande que dans mes objectifs.

Galvanomètre apériodique de grande sensibilité;

par M. d'Arsonval.

Cet appareil, représenté en coupe (*fig.* 1), conserve le principe général de la conception première. La forme du champ magnétique et le dispositif général ont été néanmoins profondément modifiés en vue du nouveau but à atteindre.

Le cadre galvanométrique est suspendu équatorialement par son plus grand diamètre au moyen de deux fils métalliques AB et CD. Il oscille autour d'un prisme de fer doux F fixe, servant à renforcer le champ magnétique. Deux puissants aimants en fer à cheval NS, N′S′, opposés par leurs pôles de mêmes noms, forment autour du

cadre un quadruple champ magnétique dont les actions sont concordantes pour dévier le cadre dans une même direction.

Le fil CD est relié à un ressort D permettant à la fois de tendre le fil et de lui donner une torsion autour de son axe pour ramener au zéro. Le fil AB vient s'enrouler sur le treuil B comme dans la balance de Coulomb. Enfin ces deux fils sont fixés au cadre mobile en A et en C à l'aide de simples vis, ce qui permet de les changer avec facilité en cas de rupture.


Fig. 1.



Par suite de la disposition des aimants le champ magnétique est forcément d'égale intensité dans toute son étendue, ce qui fait que *les déviations de l'appareil sont rigoureusement proportionnelles aux intensités.*

De plus, on peut éloigner les aimants sans altérer l'homogénéité du champ, *ce qui diminue la sensibilité de l'appareil sans avoir recours aux shunts.* En se plaçant à 1^{m} de l'appareil avec l'échelle Carpentier et avec des fils de torsion de $\frac{15}{100}$ de millimètre de diamètre, l'appareil présente les constantes suivantes :

1° Cadre gros fil ayant 2^{ohms} de résistance :

1 division de l'échelle $= \frac{1}{2000000}$ d'ampère;

2° Cadre fil fin ayant 1000^{ohms} de résistance :

1 division de l'échelle $= \frac{1}{70000000}$ d'ampère.

Avec l'échelle micrométrique décrite ci-dessus, la sensibilité devient vingt fois plus grande. On peut encore l'augmenter beaucoup en prenant un fil de suspension de $\frac{1}{10}$ de millimètre de diamètre seulement.

Ces appareils étant insensibles aux variations du magnétisme terrestre sont excellents pour enregistrer d'une façon continue, comme je le fais par la photographie, les variations de la chaleur ou de l'électricité animale.

Avec une simple soudure composée de deux fils fer maillechort, le cadre de 2^{ohms} donne 30^{div} de l'échelle pour une différence de 1° C. entre les deux soudure thermo-électriques. Enfin, comme le tout est monté sur une planchette, un simple clou, fixé au mur, sert de support à l'instrument.

SÉANCE DU 2 AVRIL 1886.

PRÉSIDENCE DE M. SEBERT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 19 mars est lu et adopté.

Est élu Membre de la Société :

M. Dussy, Professeur de Physique au lycée de Dijon.

M. le Secrétaire général signale dans la Correspondance l'avis de la publication de la reproduction photographique du spectre solaire obtenu par M. Rowland au moyen d'un réseau concave de 21,5 pieds de distance focale et de 6 pouces de diamètre. Cette publication forme un album de sept planches vendu au prix de 10 dollars.

M. le Secrétaire général donne lecture d'une Note de M. Donato Tommasi, sur *L'effluvographie ou obtention de l'image par l'effluve.*

M. Boudet de Paris reproduit devant la Société la réclamation de priorité qu'il a déjà adressée à l'Académie et montre par des dates authentiques que ses publications sur les effets photographiques de l'effluve électrique sont antérieures à celles de M. Tommasi.

M. Léon Godard présente à la Société une double lunette photométrique à lumière polarisée. Cet appareil, imaginé par M. P. Desains, a été construit par MM. J. Duboscq et Ph. Pellin, et légèrement modifié dans la suite par M. Godard.

Il se compose d'un oculaire positif, d'un parallélépipède en crown à double réflexion. Les deux tubes de la lunette portent des objectifs égaux, des foucaults identiques fonctionnant comme polariseurs, et enfin des nicols identiques analyseurs. L'un des nicols peut tourner autour de l'axe de l'un des tubes, et une alidade mobile sur un petit cercle divisé indique la position de ce nicol.

Enfin cette lunette photométrique est mobile le long d'un cercle divisé vertical, passant entre les deux tubes.

M. Léon Godard indique rapidement la disposition expérimentale dont il se sert pour étudier, à l'aide de cet appareil, la réflexion et la diffusion de sa lumière.

M. d'Arsonval décrit le calorimètre à air qui lui sert pour étudier les conditions physiologiques qui modifient la thermogenèse chez l'homme.

Cet appareil se compose essentiellement d'une grande cloche verticale à double paroi. Dans la partie centrale se place l'homme en expérience. La partie annulaire, hermétiquement close, contient de l'air en communication avec une des branches d'un manomètre à eau. Par la présence de l'homme en expérience le calorimètre s'échauffe jusqu'à ce que la perte par rayonnement soit égale à la production. La hauteur du manomètre à eau donne la mesure de cette production après une graduation préalable au moyen d'une source de chaleur dont l'intensité est connue.

Pour éviter toute correction de température et de pression, M. d'Arsonval met la seconde branche du manomètre en communication avec un espace clos plein d'air. *L'appareil devient ainsi un grand thermomètre différentiel à air dont un des réservoirs est creux et enveloppe l'être en expérience.*

Pour enregistrer, on supprime le manomètre et on le remplace par deux petites cloches suspendues aux extrémités d'un fléau de balance.

Ces cloches plongent dans une cuve à eau et sont mises par un tube central en communication avec chacun des réservoirs qui sont alors d'égale capacité.

L'appareil est soustrait, comme avec le manomètre, aux variations thermométriques et barométriques. Quand le calorimètre s'échauffe, la cloche gazométrique correspondante se soulève, et comme le fléau de la balance porte un levier inscripteur, la hauteur et les phases de ce soulèvement s'inscrivent d'une manière continue sur un cylindre enregistreur.

Un appareil semblable, mais de plus petites dimensions, sert pour l'étude des animaux de petite taille.

Cette méthode, très sensible, permet à l'auteur d'évaluer chez l'homme le rapport qui existe entre le travail et la thermogenèse. M. d'Arsonval signale d'intéressants résultats déjà obtenus par cette méthode, et qui redressent certaines erreurs accréditées en Physiologie.

M. d'Arsonval présente un modèle, format montre, de son téléphone à pôles concentriques. Cet appareil, construit sur ses indications par M. de Branville, se compose d'un aimant plat découpé à l'emporte-pièce d'une manière particulière qui permet de le loger facilement. Le téléphone se trouve ainsi réduit à une simple boîte très portative. L'appareil sous cette forme ne perd aucune de ses qualités de force et de netteté.

M. de Romilly complète ses communications précédentes sur une machine rotative élévatoire. Le problème nouveau consistait à élever l'eau par aspiration jusqu'au niveau de la turbine par un tube ininterrompu, d'une section au moins égale à celle du tube d'ascension et ne présentant nulle part ni soupapes ni étranglement. Un appareil du genre de ses appareils à faire le vide, mais profondément modifié dans ses formes essentielles, résout la question. L'expérience est faite pendant et après la séance. M. de Romilly fait remarquer que, par cette dernière adjonction, ce nouveau système est entièrement parallèle au système des pompes, puisqu'on a l'aspiration, l'ascension de l'eau, la production du vide, la soufflerie, etc.

M. Lippmann présente un électromètre absolu formé essentiellement d'une sphère métallique isolée, que l'on porte au potentiel V que l'on désire connaître. Cette sphère se trouve partagée, par construction, en deux hémisphères mobiles l'un par rapport à l'autre, et qui se repoussent avec une force égale à f, lorsque leur système est électrisé.

Or on a entre f et V la relation simple et facile à démontrer

$$f = \frac{1}{8} V^2.$$

Pour avoir V, il suffit donc de mesurer f. Cette mesure pourrait être effectuée par divers procédés; M. Lippmann s'est arrêté au suivant :

D'abord, si l'appareil destiné à mesurer f était extérieur à la sphère métallique, on serait obligé de le mettre assez loin pour que son voisinage n'exerçât pas d'action perturbatrice sensible sur la distribution électrique. Il est préférable de le mettre tout entier à l'intérieur même de la sphère électrisée, qui est creuse.

L'un des hémisphères est fixe; l'autre, mobile, est suspendu par un système *trifilaire*, c'est-à-dire composé de trois fils verticaux d'égale longueur. Lorsque la répulsion se produit, l'hémisphère mobile ne peut que se déplacer parallèlement à lui-même, les trois fils de la suspension faisant alors un petit angle α avec leur première position verticale. On mesure α

par la méthode de la réflexion, à l'aide d'un miroir collé à deux des fils, et visible à travers une petite ouverture ([1]). On voit qu'en appelant p le poids de l'hémisphère mobile, on a,

$$f = p \tang \alpha$$

et, par conséquent,

$$p \tang \alpha = \frac{1}{8} V^2.$$

Il suffit donc de connaître le poids p, qui est invariable; quant au rayon de la sphère, on voit que sa valeur est indifférente.

Dans un second exemplaire du même instrument, mis sous les yeux de la Société, le système des deux hémisphères est contenu à l'intérieur d'une enveloppe sphérique concentrique en cuivre que l'on met en communication avec la terre. Ce dispositif augmente la sensibilité de l'instrument et le met à l'abri des courants d'air, ainsi que des perturbations électriques extérieures.

Si l'on appelle a et b les rayons des deux sphères concentriques, on a la formule

$$\frac{1}{8} \frac{b^2}{(b-a)^2} V^2.$$

Ici l'on a

$$a = 3^{cm},9, \qquad b = 4^{cm},92, \qquad p = 3^{gr},322.$$

Il s'ensuit que, si l'on place une échelle divisée en millimètres à 1^m de la règle, on a, pour valeur de la déviation,

$$d = 0,00373 \, V^2.$$

Si l'on exprime V en volts, on a

$$d = 0,0000140 \, V^2.$$

Il est avantageux de multiplier optiquement la sensibilité de l'instrument en lisant les déviations à l'aide d'un oculaire de microscope grossissant de 15 à 50 fois, comme l'a proposé récemment M. d'Arsonval. On diminue alors dans le même rapport la déformation, d'ailleurs très petite, que subit le système des deux hémisphères par suite de la déviation.

([1]) L'appareil a été construit par la maison Bréguet.

Double lunette photométrique à lumière polarisée (¹);

par M. Léon GODARD.

Cet appareil (*fig.* 1), commandé par P. Desains en mai 1884, se compose d'un oculaire positif, de 0^m, 01 de foyer, d'un parallélépipède en crown PP à double réflexion. L'une des lunettes porte un objectif achromatisé, un foucault F faisant fonction de polari-

Fig. 2.

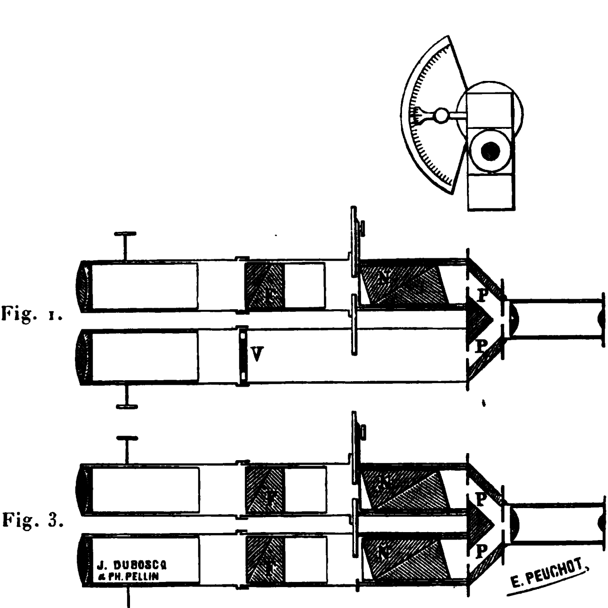


Fig. 1.

Fig. 3.

seur, un nicol analyseur N, pouvant tourner autour de l'axe du tube de cette lunette. Une alidade, mobile sur un petit cercle divisé (*fig.* 2), indique la position de ce nicol. L'autre lunette porte une lame de verre V, destinée à compenser le retard produit par le foucault et le nicol, ainsi qu'un objectif achromatisé dont la distance focale est différente de celle du premier objectif. Ces

(¹) Construite par MM. J. Duboscq et Ph. Pellin.

deux objectifs peuvent être déplacés au moyen de vis à crémaillère.

Cet appareil avait été imaginé par P. Desains pour servir aux recherches que j'avais entreprises au laboratoire d'enseignement de la Physique à la Sorbonne, sur la réflexion de la lumière. Malheureusement il ne put servir, car la lame de verre V et l'objectif correspondant ne donnaient pas une compensation suffisante pour permettre la mise au point.

La lunette fut modifiée sur mes indications en octobre 1884. Les deux tubes portent des objectifs égaux, de 50^{mm} de foyer, des foucaults F, F (*fig.* 3) identiques, ainsi que des nicols identiques N, N. Un petit bouton extérieur permet de donner un très faible mouvement de rotation au nicol du tube inférieur, de façon à amener l'égalité des deux images quand on commence les expériences.

Un faisceau horizontal de rayons parallèles, émanant d'une source unique, tombe sur un écran percé de deux ouvertures convenablement espacées, puis sur une glace inclinée, et enfin est concentré soit sur une plaque diffusante, soit sur un miroir poli. Les faisceaux diffusés ou réfléchis sont reçus dans les deux tubes de cette lunette photométrique qui est mobile le long d'un cercle divisé vertical, passant entre ceux-là, et dont le centre se trouve sur le miroir au point de symétrie des fentes lumineuses. On fait tomber tout d'abord les deux faisceaux sur le miroir qui doit servir de terme de comparaison; puis, le système étant réglé et l'un des faisceaux tombant sur ce miroir, on fait arriver l'autre sur la plaque réfléchissante que l'on veut étudier.

Cette disposition a l'avantage de n'employer qu'une seule source de lumière, et par suite de rendre constamment identique la composition des faisceaux incidents. On conçoit aisément la possibilité de se servir dans ces expériences de sources monochromatiques, ou de modifier à volonté la composition de ces sources, en interposant soit des cuves contenant différents liquides, soit des lames à faces parallèles formées de différentes substances, telles que sel gemme, alun, verres colorés, etc.

Calorimètre enregistreur applicable à l'homme;

par M. d'Arsonval.

J'ai fait connaître, en 1879, une méthode permettant d'enregistrer pendant une durée quelconque, sans corrections, la quantité de chaleur dégagée par un être vivant. Cette méthode très précise n'est applicable qu'aux êtres vivants de petite taille, en raison de la construction des appareils qui la réalisent.

Pour pouvoir étendre mes recherches et les poursuivre sur l'homme lui-même, j'ai dû chercher une nouvelle méthode d'une installation simple et d'une exactitude néanmoins suffisante pour ce genre d'étude.

La méthode que j'ai imaginée en 1883, à cet effet, est une variante de la méthode calorimétrique par rayonnement, à laquelle j'ai apporté diverses modifications pour l'adapter à mes besoins.

Voici en quoi consiste l'appareil destiné à la calorimétrie humaine :

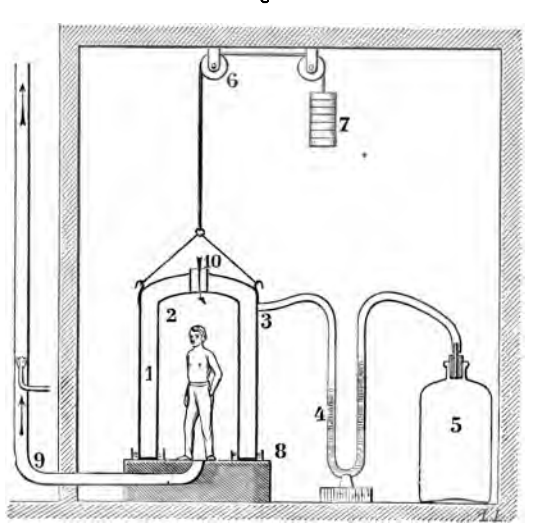
Le calorimètre proprement dit (*fig.* 1) se compose de deux vases cylindriques, en métal, placés concentriquement et limitant deux cavités distinctes : la première (1), annulaire, est hermétiquement close et communique seulement par la tubulure (3) avec un manomètre à eau (4), dont j'expliquerai ci-dessous l'usage. Cette cavité est pleine d'air. La seconde cavité (2) constitue l'intérieur du calorimètre, dans lequel est placé l'homme en expérience.

Le calorimètre est suspendu au plafond par une poulie (6) et équilibré par un poids (7). Sa base repose sur un socle (8), muni d'une rainure circulaire, remplie de glycérine, faisant fermeture hydraulique dans le cas où l'on veut faire en même temps l'analyse des gaz de la respiration.

Pour pénétrer dans l'instrument, on le soulève au-dessus du sol et on le laisse retomber dans la rainure une fois en place. Cette manœuvre ne présente aucune difficulté, grâce à la suspension de l'instrument. Au-dessus du socle débouche un tuyau (9), de $0^m,06$ à $0^m,08$ de diamètre, qui passe à travers la cloison de la

pièce où se trouve le calorimètre. La ventilation a lieu simplement par l'appel de la cheminée (9), dans laquelle brûle un bec de gaz muni d'un petit régulateur Giroud, c'est-à-dire à débit et à tirage constants. L'air extérieur arrive par la tubulure (10), et, comme la ventilation se fait ainsi de haut en bas, la température est bien uniforme dans l'intérieur de l'appareil.

Fig. 1.



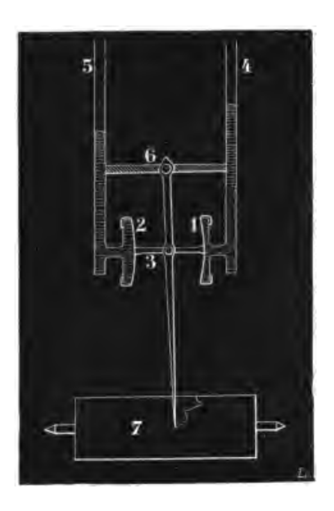
Supposons maintenant l'appareil relié à un manomètre simple par le tube (3). Si une source de chaleur est placée en (2), elle réchauffe l'air de (1), et la température monte jusqu'à ce que la perte par rayonnement soit égale à la production. Cette augmentation de température se traduit à l'extérieur par le mouvement de la colonne du manomètre qui en donne la mesure.

Ce calorimètre est, comme on le voit, *un grand thermomètre à air creux,* dans la cavité duquel la source de chaleur se trouve enfermée. On reconnaît aisément, dans ce dispositif, le principe des *régulateurs directs* que j'ai décrits autrefois ([1]), et l'on comprend, sans que j'insiste, tous les avantages de cette disposition.

([1]) *Comptes rendus* des 5 et 12 mars 1877.

La quantité de chaleur rayonnée par l'appareil (c'est-à-dire produite dans son intérieur) est proportionnelle à l'excès de température du calorimètre sur le milieu ambiant (loi de Newton); elle est donc proportionnelle à la hauteur de la colonne manométrique.

Fig. 2.



Si l'on employait un manomètre à air libre pour mesurer l'échauffement de la cavité (1), il faudrait tenir compte des variations barométriques et thermométriques du milieu ambiant pendant la durée de l'expérience. J'élimine à la fois ces deux corrections en reliant la seconde branche du manomètre à un récipient plein d'air (5) qui se trouve dans la même pièce que le calorimètre.

Grâce à cet artifice, le manomètre indique constamment l'excès de température du calorimètre sur le milieu ambiant, c'est-à-dire précisément la quantité à mesurer.

L'ensemble de l'appareil est donc un thermomètre différentiel à air analogue, aux dimensions près, à celui de Leslie et tout aussi sensible.

Pour graduer l'appareil *en calories* je fais brûler dans son intérieur un bec d'hydrogène pur à débit constant, dont la chaleur de combustion est connue; je note la hauteur correspondante du manomètre quand l'appareil est en équilibre et la graduation se trouve terminée.

La simple lecture du manomètre donne aussi à chaque instant la chaleur produite par l'être en expérience.

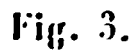


Fig. 3.



Si l'expérience doit durer peu de temps, je n'emploie pas le réservoir compensateur. Le manomètre contient de l'eau; on peut augmenter sa sensibilité à volonté, en inclinant plus ou moins le tube sur l'horizon. Cette précaution est inutile dans la plupart des cas. Pour inscrire sous forme de courbe continue les indications du manomètre, j'ai employé d'abord le dispositif figuré ci-dessus (*fig.* 2) et analogue à celui qu'a imaginé M. Marey pour son loch enregistreur; le fonctionnement de cet appareil se comprend à la seule inspection de la figure. Aujourd'hui, je préfère employer la photographie, en utilisant comme lentille cylindrique le tube plein d'eau du manomètre lui-même.

Un instrument analogue, mais plus petit et couché horizontalement, me sert pour les animaux de taille moyenne.

Enfin la *fig.* 3 représente un petit calorimètre, tout en verre, servant à mesurer la chaleur dégagée par les organismes microscopiques ou de petite taille (ferments, insectes, etc.) ou certaines réactions organiques. Le dégagement de chaleur se traduit par une dénivellation de la colonne manométrique qui en donne les phases et les valeurs.

A l'aide de ces appareils, j'ai entrepris une série de recherches tant sur l'homme sain (calorimétrie normale; action des modifi-

cateurs physiques : alimentation, vêtements, hydrothérapie, etc.) que sur l'homme malade (calorimétric infantile). J'ai obtenu déjà d'intéressants résultats que je ferai connaître prochainement à la Société (1).

Enregistreur automatique des calories dégagées par un être vivant; par M. A. d'Arsonval.

Le thermomètre, employé seul en Physiologie, est incapable de nous indiquer les variations de la thermogenèse. Cela tient à ce qu'un animal ne rayonne pas à la façon d'un corps inerte. Grâce aux nerfs vaso-moteurs, la perte de chaleur par la périphérie du corps est variable à chaque instant, suivant que les capillaires de la surface cutanée sont plus ou moins dilatés. Un abaissement de la température centrale ne correspond pas toujours à une production de chaleur moindre, et inversement, comme je l'ai montré dans le cas des animaux vernis (2) ou huilés. La température centrale d'un lapin frotté d'huile s'abaisse beaucoup, et pourtant cet animal, placé dans le calorimètre, dégage de deux à trois fois plus de chaleur qu'à l'état normal. Les oiseaux, dont la température centrale est de 4° à 5° supérieure à celle des mammifères, ne font pas, *à poids et à surface égaux,* plus de chaleur que ces derniers, comme je l'ai montré également par le calorimètre (3), contrairement à l'opinion reçue. D'autre part, j'ai montré (4) que, *à température égale,* le pouvoir émissif de la peau humaine peut varier du simple au triple, suivant qu'elle est sèche ou enduite de corps gras. Pour toutes ces raisons, la calorimétrie directe peut

---

(1) J'ai employé pour la première fois cette méthode en novembre 1883; j'ai montré les instruments dans mon cours du Collège de France, en février 1884, et j'en ai donné une description succincte, mais pour d'autres usages, dans la *Lumière électrique* du 18 octobre 1884. Je ne peux insister dans cette courte Note sur le maniement des appareils ni sur les petites modifications de détail apportées successivement pour en simplifier le fonctionnement.

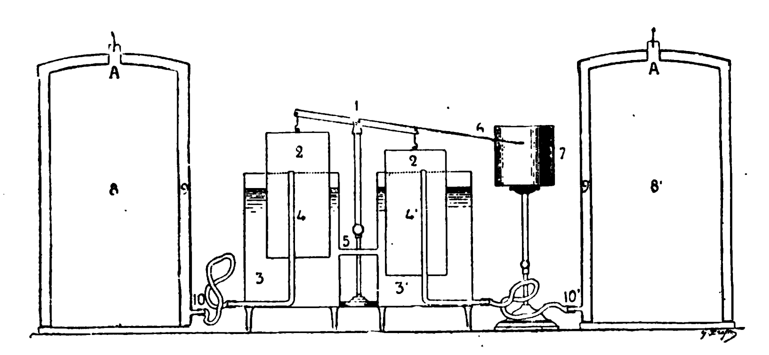
(2) Société de Biologie, 1878.

(3) Travaux du laboratoire de M. Marey, années 1878, 1879.

(4) Société de Biologie, 1881

seule nous renseigner exactement sur les variations de la thermogenèse et sur les diverses conditions qui la modifient.

Pour enregistrer les phases de cette production d'une façon continue et sans corrections, j'ai simplifié beaucoup le dispositif appliqué au calorimètre que j'ai décrit dans la Note précédente. Le manomètre a été remplacé par l'appareil inscripteur représenté ci-dessus.



8,8', réservoirs calorimétriques.
9,9', matelas d'air.
1, levier de la balance.
2,2', cloches gazométriques.
4,4', tubes communiquant avec l'espace 9,9' par les tubulures 10,10'.
6, levier portant la plume.
7, cylindre enregistreur.

Il se compose essentiellement de deux cloches métalliques légères 2, 2', suspendues à chaque extrémité d'un fléau de balance équilibrée 1.

Chaque cloche plonge dans un réservoir plein d'eau 3 3', portant un tube central 4 4' qui dépasse le niveau de l'eau et qui, s'engageant sous la cloche correspondante, la transforme en un petit gazomètre d'une mobilité extrême.

L'intérieur de chaque cloche est mis en rapport par le tube central 4 4' avec la cavité d'un des calorimètres à air 9, 9'. Les calorimètres correspondant à chaque cloche sont identiques. Si une source de chaleur vient échauffer un des calorimètres, l'air se dilate et soulève la cloche correspondante à une hauteur qui sert de mesure à l'échauffement. Si les deux calorimètres sont échauffés également, les deux cloches se font équilibre et le fléau qui les

porte ne change pas de place. L'appareil se trouve donc soustrait, de ce fait, aux variations de la température et de la pression extérieures, comme dans l'appareil à manomètre compensé.

Les réservoirs d'eau communiquent entre eux par un tube latéral 5, qui identifie leurs niveaux.

Pour rendre l'appareil enregistreur, le fléau de la balance porte un levier 6, terminé par une plume à encre donnant un tracé sur un cylindre vertical 7, qui fait un tour en vingt-quatre heures.

La longueur du levier et la capacité des cloches gazométriques sont telles que la plume s'élève de $0^{m},01$ pour 1^{cal} à l'heure dégagée dans l'appareil. On peut d'ailleurs obtenir telle sensibilité qu'on désire. Une trompe (non représentée sur la figure) fait circuler dans l'instrument un courant d'air continu, et l'on peut doser en même temps l'oxygène absorbé et l'acide carbonique émis par l'animal en expérience, suivant les procédés que j'ai décrits.

On peut ainsi poursuivre une expérience pendant des journées et même des semaines entières sans avoir à effectuer aucune correction. Un cylindre enregistreur faisant un tour en huit jours, on est dispensé même de toute surveillance, et c'est ainsi que j'ai pu entreprendre la calorimétrie continue de l'inanition sur le cobaye, le lapin et la poule.

On peut à volonté faire des expériences absolues sur un animal isolé ou, au contraire, faire des expériences comparatives en plaçant dans chaque calorimètre un animal différent.

Cet instrument, qui est d'un maniement facile, répond, je crois, à tous les besoins de la calorimétrie physiologique, où les mesures comparatives ont souvent plus d'importance que les valeurs absolues.

Calorimètre thermo-électrique. — Le calorimètre à air demande d'une demi-heure à trois quarts d'heure environ pour être en équilibre et fournir une indication définitive. Ce temps est un peu long lorsqu'il s'agit de faire une expérience de cours. C'est pourquoi, dans mes leçons de l'an dernier, j'ai décrit à mon Cours un autre dispositif qui montre à un nombreux auditoire le pouvoir calorimétrique d'un animal dans l'espace de cinq minutes. Ce procédé n'est au fond qu'une variante du précédent et nécessite l'emploi du galvanomètre.

Le calorimètre à air tel que je viens de le décrire est un *thermomètre différentiel à air;* le calorimètre thermo-électrique, comme son nom l'indique, est un *thermomètre différentiel électrique.*

Il se compose de deux soudures thermo-électriques conjuguées (cuivre-fer); l'une d'elles (le calorimètre) est creuse et enveloppe l'animal, l'autre plonge dans l'air ambiant. L'animal rayonne à travers la soudure creuse qui l'entoure, l'échauffe, et le galvanomètre indique par sa déviation l'excès de température de cette soudure sur l'air ambiant. Un rayon lumineux projeté sur le miroir de l'instrument permet au plus nombreux auditoire de suivre la marche de l'expérience sur une échelle graduée que parcourt le rayon lumineux.

L'équilibre thermique est très rapidement obtenu dans ces conditions, et l'on mesure avec une précision extrême l'échauffement de l'instrument, qui est ici bien moindre qu'avec le calorimètre à air, ce qui constitue une circonstance très favorable pour ne pas troubler la thermogenèse chez l'animal en expérience.

On pourrait au besoin inscrire par la photographie les déviations du galvanomètre, comme je le fais pour d'autres expériences; mais ce serait là une complication qu'on préférera éviter dans la pratique en se servant du calorimètre différentiel à air.

Le calorimètre thermo-électrique peut rendre de très grands services pour étudier la production de chaleur sur les tissus isolés de l'organisme soumis ou non à la circulation artificielle. A l'aide de cet instrument, extrêmement sensible, on peut constater et mesurer la production de chaleur chez les êtres inférieurs et les animaux à sang froid, comme les batraciens, les poissons, etc. Le calorimètre thermo-électrique peut recevoir des dimensions microscopiques en conservant toute sa sensibilité. J'en ai fait juste d'assez grands pour contenir un insecte ou une larve.

RÉUNION DES MARDI 27 ET MERCREDI 28 AVRIL 1886,

à 8 heures très précises du soir.

EXPOSITION DE PAQUES.

Machine à vapeur de MM. **Weyher** et **Richemond.**

Éclairage électrique par les lampes à incandescence de M. **A. de Lodyguine** actionnées par les machines dynamo-électriques système **A. Chertemps** et **Cie.**

Photomètre de M. **Violle.** — Double lunette photométrique à lumière polarisée de M. **Desains,** modifiée par M. **Léon Godard.** — Œil artificiel de M. le Dr **Gariel.** — Nouveau colorimètre pour observer les couleurs par réflexion, employé dans les teintureries et fabriques de couleurs. — Mégascope de projection avec support spécial, employé dans les aciéries pour étudier la structure et la nature des cassures des métaux. — Appareil de M. **Govi,** montrant qu'un rayon de lumière qui traverse un corps à faces parallèles est décomposé s'il est divergent ou convergent, et qu'il est dévié sans décomposition si ce rayon est parallèle. — Prisme à grande dispersion. — Héliographe enregistreur. — Néphoscope de MM. **Finemann-Hildebrandsson.** — Pyromètre de projection. — Illusion d'optique. — Expériences diverses	MM. **J. Duboscq** et **Ph. Pellin.**
Appareil pour la démonstration expérimentale du grossissement de la loupe. — Nouveau focomètre (construits par M. **E. Ducretet**)	M. **Mergier.**
Appareils photographiques à mises au point automatiques. — Projections d'épreuves obtenues à l'aide de ces appareils.	M. **A. Molteni.**
Photographies d'éclairs du 28 juin 1885. — Obtention par la photographie d'épreuves à perspective exacte	M. **Cazes.**
Téléphone à limaille de fer — Radiophones	M. **Mercadier.**
Saccharimètre à franges et à lumière blanche. — Spectroscope d'absorption de M. **de Thierry** (dispositifs de MM. Th. et A. Duboscq)	MM. **Th.** et **A. Duboscq.**
Indicateur et enregistreur à distance des variations de niveau dans les réservoirs de la ville de Paris. — Indicateur et enregistreur à distance de pression (manomètre Bourdon). — Indicateur et enregistreur à distance des températures. — Commutateur automatique pour les lignes télégraphiques et téléphoniques	M. **Parenthou.**
Nouvelle pile hydro-électrique	M. **Delaurier.**

Allumeurs et extincteurs .... M. **Radiguet.**

Pile Jablochkoff dite *auto-accumulateur* .... M. **Jablochkoff.**

Rallumeur automatique de M. Clerc .... M. **Mora.**

Pile à liquides immobilisés .... M. **Guérin.**

Appareil télégraphique .... M. **Estienne.**

Voltamètre zinc-plomb à très grande surface, pour régulariser la lumière électrique et prolonger l'éclairage en cas d'accident survenu aux machines .... M. **Reynier.**

Plaques d'accumulateurs plissées (système Reynier) à compression interne pour foisonnement. — Accumulateur télégraphique zinc-plomb à négatif protégé (système Reynier) .... MM. **E. Blanc** et **Cie**

Accumulateur genre Planté (plaques Reynier) .... M. **P. Gadot.**

Accumulateur à plaques feutrées (système Reynier et Simmen). — Conjoncteur et disjoncteur automatique de M. **Hospitalier** pour gouverner la charge des accumulateurs .... M. **A. Simmen.**

Thermomètre à contrôleur électrique. — Cathétomètre. — Appareils classiques .... M. **Gerboz.**

Microscope mégalographe de M. **G. Revoil** .... M. **V. Lefebvre.**

Ophtalmoscope dernier modèle de M. **Parent.** — Chromatomètre de MM. **Izarn, Colardeau** et **Chibret** .... M. **Giroux.**

Reproduction des effets lumineux de l'électricité sans l'intervention des appareils photographiques ordinaires .... M. **Boudet de Pâris.**

Régulateur de température. — Anémomètre .... M. **Vlasto.**

Appareil pour la mesure de la compressibilité des gaz à haute pression. — Appareil pour l'étude de la compressibilité des gaz raréfiés .... M. **Amagat.**

Appareils pour la condensation des vapeurs sous l'influence de l'électricité statique .... M. **Hempel.**

Lampes électriques universelles de sûreté, appareils électriques sous-marins (modèles carrés et ronds adoptés par les pompiers de Paris et la marine de l'Etat). — Appareils d'éclairage électrique pour la physiologie, la minéralogie, la chimie, l'éclairage du microscope, la photomicroscopie, etc. M. **G. Trouvé.**

Photographies solaires : 1° Taches avec les granulations dans les facules et les stries. — 2° Autre tache. — 3° Surface solaire [Eclipse totale du 6 mai 1883 observée à l'île Caroline (Pacifique)]. — 4° Couronne solaire .... M. **Janssen.**

Vues photographiques se rapportant à l'aérostat de Meudon. M. **Ch. Renard.**

Photographies célestes (**Observatoire de Paris**)........... MM. P. **Henry.**

Appareil élévatoire et à faire le vide....................... M. **de Romilly.**

Baromètre enregistreur à mercure donnant directement le diagramme de la pression barométrique réduite à zéro. — Girouette-anémomètre enregistrant la force et la direction des vents. — Suspension Cardan à ressort pour le placement à bord des baromètres anéroïdes. — Thermomètre avertisseur électrique. — Thermomètre enregistrant à distance ses indications pour études médicales et industrielles. — Pluviomètre à flotteur et à siphon enregistreur. — Indicateur de la vitesse des machines......................... MM. **Richard** frères.

Télémètre de dépression (système **Audouard**)............. M. **Dumoulin-Froment.**

Focomètre Laurent : appareil général pour contrôler les surfaces courbes, au moyen d'images réfléchies. — Appareil nouveau pour contrôler les surfaces courbes, au moyen des anneaux colorés. — Comparateur optique pour exécuter des objectifs centrés. — Lunettes à autocollimateur pour divers usages : 1° réflexion de fils sombres sur fond éclairé ; 2° réflexion d'un trou éclairé sur fond sombre. — Eclaireurs à lumière ordinaire et à lumière monochromatique pour divers appareils. — Objectifs pour instruments de précision. M. **L. Laurent.**

Effet du choc des projectiles sur des plaques métalliques minces.......... .... M. le Colonel **Sebert.**

Appareil à ondes de Wheatstone, grand modèle, avec dispositions nouvelles et tableau explicatif................. M. **R. Kœnig.**

Lampes à incandescence. — Filaments de bambou. — Compteur Edison. — Appareils divers, douilles, interrupteurs. — Lampe à arc **Pieper.** — Dynamo Edison de 225 ampères, 110 volts...................................... **Société Edison.**

Galvanomètre Wiedemann, modèle d'Arsonval. — Galvanomètre à circuit mobile de grande sensibilité et à déviations proportionnelles. — Echelle micrométrique pour la lecture des faibles déviations angulaires. — Téléphone à pôles concentriques, modèle montre (appareils construits par la maison **de Branville** et **Cie**)................................ M. **d'Arsonval.**

Nouvel hygromètre à condensation de M. **Sire.** — Appareils de M. **Marié-Davy** pour graduer et vérifier les hygromètres à cheveu. — Appareil de M. **Villot** pour l'analyse industrielle des gaz. — Instrument enregistreur pour anémomètres, ou compteur de tours. — Anémomètre de M. **Fleuriais** pour être placé au sommet d'un mât de navire.

— Moulinet de M. **Fleuriais**. — Rose à relèvement de M. **Malapert** pour corriger la compensation des compas. M. **Demichel**.

Deux polycordes s'accordant automatiquement, donnant les gammes enharmoniques des musiciens et des physiciens et permettant de comparer leur justesse .... M. **Paul Robin**.

Nouveaux modèles d'hygromètres à condensation. — Lunette pour l'observation simultanée des franges et du thermomètre de l'instrument. — Longue-vue de campagne à trois tirages en aluminium soudé. — Diverses pièces en nouveau métal Bourbouze. — Electromètre **Branly** modifié par MM. **J.** et **A. Curie**.................................... M. **Bourbouze**.

Modèle de siphon recorder de Sir **W. Thomson**. — Aréomètres électriques. — Piles pneumatiques de M. **Pillet**. — Piles thermo-électriques de M. **Clamond** .... M. **Carpentier**.

Appareils d'enseignement électrotechnique................ M. **E. Hospitalier**

Machine à influence de **Wimshurst**, grand modèle. — Machine à influence de Wimshurst, petit modèle. — Dromoscope **Fournier**, dernier modèle. — Echelle transparente en bois. — Galvanomètre différentiel **Thomson**. — Caisse de résistance grand modèle par décade. — Ampèremètre **Lippmann** à mercure. — Électromètre sphérique de **Lippmann**. — Pont à induction de **Bréguet**. — Boussole de Kempe. — Machine Gramme de laboratoire à deux manivelles et à transmission funiculaire. — Tachymètre de **Young** .... **Maison Bréguet**

Petit modèle de soufflerie de précision pour des expériences d'acoustique..... .... M. **Cavaillé-Coll**.

Bec à flamme sensible pour la mesure des intensités sonores. — Bec à flamme oscillante .... M. **Neyreneuf**.

Modification du compensateur de Babinet qui en double la sensibilité. — Petit appareil à anneaux colorés employé comme thermoscope d'une grande sensibilité (appareil de M. Jamin). — Réseaux de 600 à 800 traits au $\frac{1}{50}$ de millimètre.. M. **Nodot**.

Bolomètre de **Langley**, avec galvanomètre à réflexion de Thomson et échelle à projection, nouveaux modèles de **Ducretet**. — Machine de **Wimshurst** à double rotation inverse et amorcement automatique, construite sur les indications et l'autorisation de l'auteur. — Addition d'un dispositif de M. **E. Ducretet** pour la production de l'ozone. — Expériences de cours réalisées avec deux bobines de Ruhmkorff et une bobine à faisceau et inducteur mobiles disposées en transformateurs inverses d'énergie électrique. (Expériences dues à MM. **Bichat** et **Hospitalier**.) — Piles

plates à grande surface et à bichromate de potasse pour les bobines Ruhmkorff.................................... M. E. **Ducretet.**

Optomètre binoculaire. — Ophtalmoscope à réfraction. — Optomètre à main.. M. **Nachet** (jeune).

Appareil de téléphonie domestique. Microphones système **Berthon.** — Téléphone système **Ader.** — Postes d'appel direct pour réseaux. — Installation permettant de brancher plusieurs postes sur un même fil. — Commutateur à leviers pour poste central à communications simples, etc....... **Société générale des Téléphones.**

Grand calorimètre inscripteur pour l'homme. — Calorimètre thermo-électrique. — Électrodes impolarisables solides pour l'étude de l'électricité animale (construits par M. **Verdin**.............. .... M. **d'Arsonval.**

Appareils divers de Physiologie............................ M. **Verdin.**

SÉANCE DU 7 MAI 1886.

PRÉSIDENCE DE M. SEBERT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 2 avril est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. de Branville, Ingénieur constructeur à Paris.
Ledeboer, Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences de Paris.
Giroux (E.), de la maison Roulot, Ingénieur opticien à Paris.

M. le Président fait part à la Société de la perte douloureuse qu'elle vient de faire dans la personne de M. Melsens, membre fondateur et ancien membre du Conseil de la Société. « M. Melsens était membre des Académies des Sciences et de Médecine de Belgique, professeur émérite de l'École de Médecine vétérinaire et examinateur permanent à l'École militaire. C'était un élève de Dumas, à qui il avait voué un véritable culte; c'était aussi un grand ami de la France, et à ce titre nous devons doublement déplorer sa perte. Ses travaux sont nombreux et variés : ils portent sur la Chimie et la Physique et s'appliquent à des sujets qui ont soulevé souvent de vives controverses. Je ne puis les examiner ici et je dois me borner à rappeler ses recherches originales sur les poudres de guerre, ses observations curieuses sur l'entraînement de l'air dans le tir des projectiles, et enfin ses travaux sur l'établissement des paratonnerres, travaux qui étaient sa grande préoccupation dans les dernières années de sa vie. »

M. le Président adresse les remerciements de la Société aux personnes qui ont bien voulu prêter leur concours aux séances de Pâques, en particulier à MM. Weyher et Richemond qui, comme les années précédentes et avec le même désintéressement, ont mis à la disposition de la Société la force motrice nécessaire pour l'éclairage électrique; à M. de Lodyguine qui nous a donné la primeur de ses lampes à incandescence si intéressantes, et à ses associés et collaborateurs MM. Cauderon et Bertin, qui ont bien voulu prendre la charge du brillant éclairage de nos salles d'exposition.

M. Le Chatelier s'est occupé de la mesure des températures élevées par les couples thermo-électriques; ce procédé, proposé dès 1837 par Pouillet et Becquerel, passe pour être peu précis. D'après les expériences de Regnault, les indications d'un même couple ne resteraient pas comparables d'une expérience à l'autre et, d'après M. Becquerel, la loi de variation des forces électromotrices avec la température serait tellement complexe qu'il faudrait pour chaque couple faire une graduation empirique nécessairement longue et délicate.

Cette condamnation paraît trop absolue, étant donné que les expériences de Regnault ont porté sur un seul métal, le fer, que la variabilité extrême de ses propriétés rend tout à fait impropre pour un semblable emploi. D'autre part, les expériences de M. Becquerel satisfont dans une grande partie de l'échelle thermométrique à la loi simple qu'Avenarius et Tait ont établie pour un très grand nombre de couples entre les températures 0° et 400°

$$E = at + bt^2 \text{ (}^1\text{)}.$$

Cette formule renferme seulement deux constantes a et b qui peuvent être déterminées au moyen de deux points fixes, comme on le fait pour la graduation habituelle des thermomètres.

Il était donc permis d'espérer obtenir, par un choix convenable des métaux, un couple *comparable* à lui-même, et d'une *graduation* simple.

Pt *pur et fondu* - Fe *fondu ou forgé*. — Ce couple n'est pas comparable à lui-même; tous les fils de fer chauffés en un quelconque de leurs points donnent naissance à des courants d'intensité et de direction variables. Les indications dépendent donc de la loi de répartition des températures le long du fil de fer. Les indications varient encore avec le degré d'écrouissage du métal.

Pt *pur et fondu* - Pd *fondu ou forgé*. — Même résultat qu'avec le fer; un fil de palladium fondu relativement homogène, chauffé en un certain de ses points à 700°, donne une force électromotrice de $\frac{2}{1000}$ de volt, équivalente à celle qu'aurait donnée une différence de température de 250° entre les deux soudures des couples considérés.

---

(1) L'une des soudures est supposée maintenue dans la glace fondante.

Pour ce couple, la loi d'Avenarius s'applique jusqu'à 1500° dans la limite de précision que comportent les expériences.

Pt *pur fondu* - Pt *iridié fondu à* 10 *et* 20 *pour* 100 *d'iridium.* — Le métal, parfaitement homogène, ne donne aucun courant quand on chauffe le couple en dehors de la soudure. Mais les forces électromotrices varient d'une façon considérable (20 pour 100 d'écart parfois) avec le degré d'écrouissage du métal, et il est impossible par le recuit de ramener le métal à un état toujours identique à lui-même. Le couple n'est pas comparable à lui-même aux basses températures. Il paraît plus comparable aux températures élevées et sa force électromotrice est donnée entre 1000° et 1775° par la formule simple

$$E = at.$$

Cet alliage a seulement l'inconvénient de devenir rapidement cassant quand il a été plusieurs fois chauffé.

Pt *pur fondu* - Pt *rhodié fondu.* — L'alliage de rhodium s'est montré très homogène, et très peu sensible à l'écrouissage. Il donne des couples qui restent comparables entre eux et conviennent très bien pour la mesure des températures. Mais on ne peut pas représenter par une simple formule parabolique la variation de la force électromotrice entre 0° et 1775°. On peut cependant, dans une première approximation, employer une semblable formule entre 0° et 1200°. L'erreur commise ne dépasse pas 20°.

Deux points fixes très convenables pour la graduation des couples sont

Ébullition de AzH^4Cl	340°
Fusion de $KOSO^3$	1015°

Les points suivants de fusion, d'ébullition et de dissociation ont été déterminés par ce procédé.

Al	625
AzH^4Br	390
CaOHO	540
$CaOCO^2$	925

M. Léon Laurent décrit la méthode pratique qu'il emploie pour l'exécution des petits prismes de Nicol et de Foucault; il indique les conditions que doit remplir un bon nicol et présente un outillage mécanique spécial qui dispense de l'emploi du goniomètre. Il se compose de douze pièces identiques en laiton, creusées en forme de V et fixées sur un plateau rond en laiton, portant un miroir parallèle à ses faces. Un demi-nicol type sert à contrôler les pièces : M. Laurent indiquera plus tard comment il l'obtient; c'est un cas particulier d'une méthode pour l'exécution des prismes de précision. Le type étant collé dans une pièce, il vérifie, au moyen de ses lunettes autocollimatrices, si les bases sont parallèles aux surfaces polies correspondantes du type.

Au lieu de prendre pour *guides* les bouts des nicols, M. Laurent prend les faces latérales qu'il commence par dépolir bien parallèles aux clivages;

on scie les spaths et on fixe les demi-morceaux dans les pièces V. On polit alors d'un coup douze surfaces parallèles au miroir du plateau, puis les douze autres. On peut alors prendre indistinctement deux demi-nicols et les coller à demeure. Les nicols rayés pourront être repolis plus tard, sur ces mêmes outils, car les guides sont conservés.

M. Laurent indique un moyen d'améliorer beaucoup un nicol quelconque, en collant une ou deux glaces choisies sur ses bouts; on corrige l'excentricité, l'image est plus nette et on protège les surfaces.

Les clivages du spath ne donnent pas toujours une image bien visible. M. Laurent a combiné un deuxième type de lunette dans lequel on examine l'image réfléchie d'un trou rond éclairé sur fond sombre; ce dispositif rend l'observation plus facile, surtout dans le cas des images imparfaites. Elle sert aussi à divers usages.

M. Laurent attire l'attention de la Société sur des effets produits par la matière non tout à fait homogène. Il montre un cube de verre de $0^m,04$ d'épaisseur, dont deux surfaces sont planes et parallèles; elles ne devraient donner qu'une seule image (avec les lunettes), or elles en donnent bien une seule au centre, mais il y a dédoublement partout ailleurs; cependant la matière paraît très belle.

M. Laurent donne une explication du phénomène au moyen de figures sur le tableau et en prenant pour exemple le verre trempé. Il part de ce fait que, la densité de ce verre allant en augmentant de l'extérieur au centre, un rayon lumineux doit se courber dans l'intérieur du verre, comme dans les effets de mirage. Le faisceau réfléchi sur la deuxième surface sort du verre comme s'il émanait d'un point non situé à l'infini. M. Laurent montre qu'en dehors du centre les deux images ne doivent pas se superposer et qu'il doit y avoir une différence de foyer notable. Il en conclut que l'homogénéité de la matière n'est pas toujours à la hauteur de la précision de ses procédés de contrôle. On peut répondre du travail, mais on ne peut juger tout à fait de la qualité de la matière que lorsque le travail est complètement terminé; c'est très malheureux, mais du moins on est fixé et on ne retravaille pas des surfaces au hasard.

De la mesure des températures élevées par les couples thermo-électriques; par M. H. Le Chatelier.

La mesure par le thermomètre à air des températures supérieures à 500° présente de telles difficultés que, parmi les déterminations nombreuses faites jusqu'ici, il n'en est peut-être pas une douzaine pour lesquelles on puisse compter sur une approximation de plus de 100°. Aussi, faut-il, dans les recherches de Chimie,

pour lesquelles la connaissance exacte des températures présenterait cependant une grande importance, se contenter dans la plupart des cas de déterminations faites de sentiment.

L'emploi des couples thermo-électriques pour la mesure des températures élevées a été proposé, dès 1836, par Becquerel et Pouillet. Ce procédé, d'un usage très commode par suite du petit volume de l'appareil thermométrique, passe pour être peu exact et n'a jamais été employé que d'une façon accidentelle par quelques observateurs isolés.

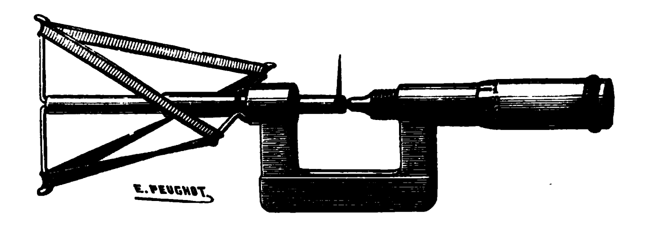
Je me propose de montrer ici que la condamnation de cette méthode ne saurait en aucune façon être justifiée, et que les mauvais résultats obtenus jusqu'ici tiennent surtout au choix défectueux des couples employés. Par un hasard fâcheux tous les savants qui ont étudié cette question se sont servis du fer ou du palladium qui sont peut-être de tous les métaux ceux qui conviennent le moins pour un semblable usage.

Appareil galvanométrique. — J'ai employé pour cette étude un galvanomètre apériodique de MM. Deprez et d'Arsonval qui avait une résistance intérieure de 250^{ohms} et donnait sur l'échelle un déplacement de 100^{mm} pour $\frac{1}{100}$ de volt. La résistance des couples ne dépassait guère 2^{ohms}; la variation irrégulière de leur résistance, par suite de l'échauffement, ne pouvait donc entraîner des erreurs supérieures à quelques millièmes. Cet appareil donne des indications assez rapides pour permettre de faire des mesures dès que la température reste stationnaire pendant cinq secondes. Il ne permet pas d'obtenir une proportionnalité rigoureuse entre les lectures de l'échelle et l'intensité des courants; mais, dans l'appareil que j'avais entre les mains, cette proportionnalité se vérifiait à 1 pour 100 près entre les divisions 10 et 150 de l'échelle. Cela résulte des chiffres suivants obtenus en faisant varier la résistance du circuit sans changer la force électromotrice.

Résistance totale.	Division de l'échelle.	Produit.
ohms	mm	
174	154,0	26800
252	106,7	26900
485	55,9	27100
2968	9,10	26800

Pour mesurer les petites déviations, j'ai remplacé avec grand avantage l'échelle transparente de M. Carpentier, qui ne permet guère de faire les lectures à plus de $0^{mm},25$, par une pointe mobile portée sur un palmer (*fig.* 1), disposition qui décuple la précision des lectures. Un ressort en caoutchouc maintient pressée contre l'extrémité de la vis la pièce mobile qui porte la pointe. La règle et le palmer peuvent en un instant se substituer l'un à l'autre sur le même support.

Fig. 1.



Enfin je me suis servi, dans certains cas, pour l'enregistrement des points fixes d'ébullition, de fusion, de la méthode photographique. Une fente éclairée par la lumière Drummond projetait son image sur une plaque sensible et laissait une impression d'autant plus intense que la température était restée plus longtemps stationnaire.

Points fixes de graduation. — La détermination des températures auxquelles sont portés les couples étudiés doit évidemment être faite au moyen du thermomètre à air ; mais celui-ci peut être employé soit directement en le plaçant à côté des couples, soit indirectement en se servant des points de fusion ou d'ébullition antérieurement déterminés. C'est la seconde méthode que j'ai préférée ; elle est de beaucoup la plus rapide et en même temps la plus exacte, puisqu'elle permet d'utiliser les mesures de températures effectuées par les observateurs les plus habiles. Voici les points fixes qui m'ont servi ; ils sont, pour les températures élevées, empruntés exclusivement aux déterminations de M. Violle :

Température.	Fusion.	Ébullition.
100°	»	HO
325	Pb	»
358	»	Hg
415	Zn	»
448	»	S
665	»	Se
945	Ag	»
1045	Au	»
1054	Cu	»
1500	Pd	»
1775	Pt	»

Ces divers points ne sont pas tous d'un usage aussi commode. Le point de fusion du zinc paraît présenter une anomalie semblable à celle que présente le soufre. En échauffant rapidement ce métal de façon à dépasser son point de fusion, et le laissant refroidir ensuite, on observe un intervalle de 15° entre le point de fusion et celui de solidification; mais, si une fois solide on le réchauffe immédiatement, la même anomalie ne se produit plus. Le point de fusion de l'argent m'a paru également un peu variable; cette anomalie pourrait résulter de la proportion plus ou moins grande d'oxyde d'argent que le métal fondu tient en dissolution et qui est la cause du rochage.

Enfin les trois métaux Zn, Ag et Cu ont le grave inconvénient d'émettre, dès leur point de fusion, une quantité suffisante de vapeur pour altérer rapidement le platine des couples. Le soufre, et surtout le sélénium, altèrent si rapidement le palladium que ce métal ne peut pas être plongé dans la vapeur de ces corps. Il n'en est pas de même pour le platine et les alliages de ce métal dont l'altération est insensible dans les mêmes conditions.

Pour faire l'observation des points de fusion, le couple, entouré d'une mince feuille du métal expérimenté, était placé au milieu d'un creuset chauffé dans un four Forquignon et l'on saisissait au passage le point d'arrêt du fil mobile pendant la fusion. Dans le cas où le métal était le platine, c'est-à-dire un des éléments du couple, on reconnaissait la fusion à la rupture du circuit.

Étude des irrégularités des couples. — Le reproche le plus grave fait à l'emploi des couples thermo-électriques est leur irré-

gularité; placés dans des conditions identiques de température, ils ne donneraient pas les mêmes indications.

J'ai pensé que pour une étude convenable des causes de ces irrégularités on pourrait soit en calculer l'influence, soit même arriver à les annuler. Le dernier résultat me semble pouvoir être obtenu, en grande partie du moins, par un choix convenable des métaux constituant les couples.

Défaut d'homogénéité des métaux. — Un fil préparé avec un métal dépourvu d'homogénéité, formé en quelque sorte par la juxtaposition de tronçons de nature différente, ne peut évidemment pas donner de couples restant comparables à eux-mêmes, puisque alors la force électromotrice dépend de la répartition éminemment variable de la température le long de ce fil. L'homogénéité est donc la première et la plus importante des conditions à réaliser, et pourtant dans les expériences faites jusqu'ici on ne s'est jamais préoccupé de ce côté de la question.

J'ai étudié l'homogénéité des fils en les chauffant, après recuit, sur une longueur de 15^{mm}, à une température voisine de 700°. La source de chaleur était déplacée progressivement sous le fil tendu horizontalement et l'on notait les déviations produites ainsi sur le galvanomètre. Le *palladium*, le premier métal que j'aie ainsi étudié, m'a donné des déviations importantes variant de sens d'un point à l'autre du fil. Pensant que le défaut d'homogénéité du métal ainsi accusé tenait à son mode de préparation (forgeage de mousse métallique), j'ai essayé des fils préparés avec du métal fondu, mais les résultats n'ont pas été meilleurs; je donne ici le détail d'une expérience faite avec un semblable fil chauffé à des points équidistants de 5^{cm} :

Longueur du fil.	Déviations.
m	mm
0,05	— 2,0
0,10	+ 2,5
0,15	— 1,5
0,20	—10,0
0,30	— 5,0
0,35	— 2,0
0,40	— 0,5
0,45	0,0

Longueur du fil.	Déviations.
m	mm
0,50	— 1,0
0,55	+ 3,0
0,60	0,0
0,65	— 2,0
0,70	0,0

On se rendra compte de l'importance des forces électromotrices dues à ce manque d'homogénéité en les rapprochant de celles qui sont développées par le couple platine-palladium : ce dernier donne en effet une déviation de 5^{mm} pour une élévation de température de 100° de la soudure chaude.

Les essais sur le fer n'ont pas été plus satisfaisants; tous les échantillons des fils de fer essayés (fer puddlé, Bessemer basique ou acide extra-doux) ont manifesté des anomalies semblables à celles du palladium. Aucun de ces deux métaux, *fer* et *palladium*, ne saurait donc convenir pour la confection des couples thermo-électriques destinés à la mesure des températures.

J'ai étudié ensuite des fils de *platine pur* ou allié au *rhodium*, à l'*iridium* et au *cuivre* préparés avec du métal *fondu*. Ils se sont montrés tous d'une homogénéité remarquable; les plus fortes déviations n'ont pas atteint 1^{mm}. A ce point de vue spécial ces métaux et alliages conviennent également bien pour la confection des couples.

L'*écrouissage* des métaux altère plus ou moins les propriétés thermo-électriques. J'ai reconnu que cet effet était sensiblement nul pour le *palladium* et le *platine pur;* très faible pour l'alliage de *platine rhodié* qui présente seulement des écarts de 1 à 2 pour 100 entre les déviations obtenues avec le métal sortant de la filière ou recuit au blanc. Pour le *fer*, au contraire, et les alliages de *platine iridié*, l'effet de l'écrouissage est énorme. Avec un alliage de platine iridié à 20 pour 100, j'ai obtenu les résultats suivants :

	HO bouillante.	Fusion du zinc.
	mm	mm
Métal sortant de la filière	11,00	»
Métal recuit au rouge sombre	12,00	»
Métal recuit au blanc	13,00	»
Métal écroui par des torsions successives	11,65	72
Métal recuit au blanc	12,40	78

Ce Tableau montre, de plus, qu'on ne peut pas ramener par le recuit à un état toujours identique à lui-même un métal susceptible de s'écrouir.

Trempe. — Je rappelle pour mémoire que le fer, même légèrement carburé, comme le sont les fers les plus purs, éprouve encore par la trempe une modification profonde de ses propriétés thermo-électriques. Je n'ai rien observé de semblable avec les autres métaux que j'ai étudiés.

Le *mode de jonction des fils* semblait, d'après les expériences de Regnault, jouer un rôle dans les propriétés des couples. J'ai reconnu qu'il n'en était rien pour le platine et les métaux analogues. Un couple platine rhodié, par exemple, réuni par torsion, forgeage à chaud, soudure autogène, soudure au palladium ou à l'or, placé dans les mêmes conditions, donne les mêmes indications. Les résultats obtenus par Regnault tiennent à ce que l'un des métaux de son couple était le fer qui ne peut subir l'élévation de température que nécessite le forgeage ou le soudage sans que ses propriétés en soient altérées.

La *nature des gaz* dans lesquels le couple est placé ne m'a pas paru avoir d'influence sur ses indications. Il semble pourtant difficile que l'hydrogène, si facilement condensé par le platine, n'en modifie pas un peu les propriétés; mais cette influence est sans doute trop faible pour se dégager au milieu des incertitudes des expériences qui s'élèvent environ à 1 pour 100 de la valeur des déviations observées.

L'ensemble de ces expériences m'a donc amené à conclure qu'il était possible de construire un couple restant comparable à lui-même en employant comme métaux le *platine pur* fondu et le *platine rhodié* à 10 pour 100 également fondu, et que cet alliage était le seul remplissant les conditions voulues parmi ceux que j'avais étudiés.

Loi de variation de la force électromotrice avec la température. — Avenarius et Tait ont montré que, pour la plupart des couples étudiés par eux, cette loi peut, entre 0° et 400°, être mise sous la forme

$$E = A(\tau - \tau_0) + B(\tau^2 - \tau_0^2),$$

τ et τ_0 températures absolues des deux soudures qui devient, lorsque la soudure froide est maintenue dans la glace fondante,

$$E = at + bt^2.$$

Les expériences de M. Edm. Becquerel sur le couple Pt-Pd, qui ont été poussées jusqu'à 1400°, sont assez exactement représentées par une formule analogue, sauf entre 300° et 500° où elles présentent une perturbation singulière.

Il était donc intéressant de reprendre l'étude de cette loi; son exactitude permettrait en effet de graduer un couple en employant seulement deux points fixes, comme on le fait pour le thermomètre à mercure entre 0° et 200°. Mes expériences montrent que, entre 0° et 1500°, la formule d'Avenarius et Tait s'applique pour le couple Pt-Pd avec le degré d'approximation que comporte l'emploi d'un métal aussi hétérogène que le palladium. Je donnerai ici les chiffres relatifs au couple platine pur fondu-palladium forgé. La formule moyenne est

$$E = 4,3t + \frac{7,3}{1000}t.$$

	Points fixes.	Déviations observées.	Températures calculées.
	°	mm mm	° °
HO	100	4,8- 5,9	95-115
Zn	415	29,0- 30	400-410
Ag	954	108,0-109,7	955-965
Au	1045	122,6	1035
Pd	1500	240,3	1550

Mais une formule aussi simple ne paraît pas convenir pour les autres couples que j'ai étudiés. Il faut compléter la formule parabolique par un troisième terme en t^3 ou diviser la courbe en deux parties, dont chacune serait représentée par une formule distincte. On arrive ainsi à représenter les résultats de l'expérience à 20° près, précision largement suffisante lorsque l'on a affaire à des couples aussi irréguliers que ceux formés par le platine iridié, le fer, etc.

Pour le couple *platine-platine rhodié,* le plus régulier de ceux que j'ai étudiés, il faudrait employer une formule plus complexe encore pour représenter les résultats de l'expérience à 10° près, c'est-à-dire avec une précision inférieure même à celles que comportent les expériences. Mais, si l'on trace la courbe relative à ce

couple, on s'aperçoit que, entre 500° et 1000°, elle présente un point d'inflexion dont la tangente se confond avec la courbe sur une grande étendue. On peut, entre 300° et 1200°, intervalle de température où les mesures sont les plus intéressantes, identifier la courbe avec une droite dont l''équation serait

$$E = -0,15 + 0,115\,t.$$

Je donne, dans le Tableau ci-dessous, les résultats des expériences qui ont servi à tracer la courbe et en même temps les déterminations de quelques nouvelles températures de fusion ou de volatilisation destinées à servir ultérieurement de points fixes de graduation.

	Points fixes.	Déviations observées.	Températures calculées.
	°	mm	°
HO	100	5,5	»
AzH^4Cl	»	25,6	340
Hg	358	27,7	»
S	448	36,3	»
Al	»	57,3	625
Se	665	61,8	»
KO,SO^3	»	102,5	1015
Au	1045	105,6	»
Pd	1500	161,0	»
Pt	1775	182,0	»

En résumé, le couple *platine pur fondu, platine rhodié fondu*, à 10 pour 100, permet d'obtenir la mesure des températures inférieures à 1200° avec une approximation d'environ 10°, c'est-à-dire supérieure à celle que peut donner le thermomètre à air lorsqu'il est employé d'une façon courante, comme il peut l'être dans des recherches de Chimie où la mesure des températures n'est souvent qu'un côté accessoire des études poursuivies.

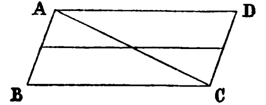
Pour obtenir cette précision, il est utile de faire la graduation du couple dans le cours même des expériences pour éviter l'influence des variations de température sur la résistance du cadre du galvanomètre, et il est indispensable d'éloigner du couple, pour le préserver de toute altération, les métaux volatils : plomb, zinc, argent, cuivre et aussi, lorsque l'atmosphère est réductrice, les matières siliceuses, la terre réfractaire des creusets.

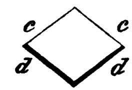
Méthode pratique pour l'exécution des prismes de Nicol et de Foucault;

par M. Léon Laurent.

On sait que le prisme de Nicol est formé d'un cristal de spath d'Islande ABCD (*fig.* 1). On le scie en deux suivant AC, les parties sciées sont polies et collées au baume de Canada. Un rayon lumineux, qui traverse un nicol bien exécuté, ne doit pas en sortir dévié.

Fig. 1.





Pour arriver à ce but, il faut remplir les conditions suivantes : les faces terminales AB, CD, doivent être *parallèles* aux clivages; les surfaces intérieures AC doivent faire des angles *égaux* avec les premières et être *également* inclinées sur les faces latérales; enfin les surfaces polies doivent être *planes*.

Dans les ateliers, on prend pour *guides* les faces *terminales* AB, CD; on les travaille en se réglant sur les clivages, par à peu près. L'angle de ces faces avec les faces intérieures AC, se prend au goniomètre d'application, pour *chaque* pièce et l'inclinaison sur les faces latérales se fait à l'œil; il y a nécessairement des différences plus ou moins grandes entre les demi-nicols et il faut, avant de les coller à demeure, les coller provisoirement pour rechercher par tâtonnements ceux qui se compensent le mieux.

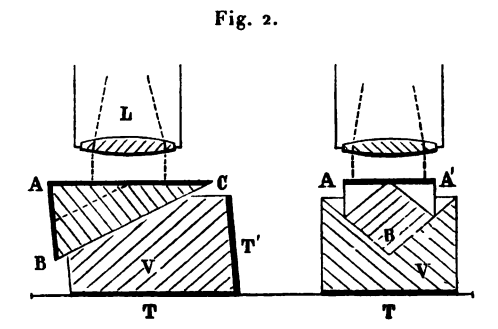
Depuis plusieurs années, le spath d'Islande est devenu très rare; aujourd'hui le beau spath ne se trouve même plus en gros morceaux, et il faut prendre les nicols, dans de petits cristaux, ce qui ajoute encore aux difficultés.

J'ai combiné un *outillage* mécanique spécial, afin de faciliter l'exécution difficile des petits nicols. Il se compose de douze pièces V identiques, en laiton; l'une d'elles est représentée (*fig.* 2) vue de face et de côté ; elles sont fixées avec des vis sur un plateau rond P (*fig.* 3). Celui-ci porte à sa partie supérieure un

miroir M parallèle à la face T sur laquelle sont fixées les pièces V. Les surfaces à polir AB des spaths sont mises parallèles à M.

Un demi-nicol *type* ABC (*fig.* 2) sert à contrôler les pièces V; ses surfaces sont aussi planes que le permet cette substance et elles font avec l'*axe* du spath les angles voulus; j'indiquerai plus tard comment je l'obtiens, c'est un cas particulier d'une méthode pour l'exécution des prismes de précision.

Fig. 2.



Le type étant collé avec soin dans la creusure d'une pièce V, le talon T devra être parallèle à la face AC; si l'on rabat la pièce sur l'autre talon T', celui-ci devra être parallèle à la face AB. Pour le vérifier, on place la pièce et le type sous une lunette autocollimatrice L, dont j'ai parlé dans ma dernière Communication sur les objectifs et qui est entrée dans le travail journalier de l'opticien. Le *déplacement* de l'image réfléchie indique le sens et la grandeur de l'erreur et l'on retouche aux talons T et T' pour leur donner la direction voulue. Ces pièces ne s'altèrent pas pendant le travail, car l'émeri ne les touche pas.

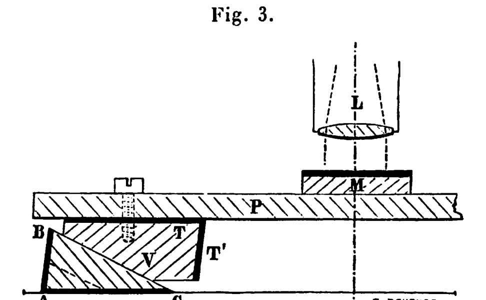
Les pièces V étant ainsi vérifiées, on fixe sur chacune d'elles un demi-spath préparé de la manière suivante :

Préparation des spaths. — La matière est clivée en petits morceaux de la grandeur nécessaire pour faire un nicol de 10^{mm}, par exemple, modèle très employé. A chacun d'eux on dépolit deux faces latérales contiguës *d*, *d* (*fig.* 1) en les rendant parallèles aux clivages opposés *c*, *c*. Puis on colle une douzaine de ces pièces sur un plateau, afin de dépolir les deux autres faces parallèles aux premières; après deux manipulations, les spaths se trouvent avoir

quatre faces latérales *dépolies* et bien *parallèles* aux clivages ; je les prends pour *guides*.

On scie ensuite les spaths à la manière ordinaire et on les colle sur les pièces V ; celles-ci sont vissées sur le plateau P que l'on retourne pour le travail (*fig.* 3); on polit alors d'*un coup* douze faces *intérieures* AC parallèles au miroir M. Ensuite on revisse les pièces sur leurs talons T' et l'on fait de même d'un coup toutes les

Fig. 3.



faces terminales AB. Les demi-nicols étant détachés de leurs pièces V, on peut en prendre indistinctement deux et les coller à demeure.

Cet outillage permet donc de faire des nicols sans se servir du goniomètre et, tout en observant bien les angles, le travail de l'opticien est constamment ramené à exécuter des surfaces *parallèles* à un plan donné, cas rendu relativement facile par l'emploi de mes lunettes autocollimatrices. Un ouvrier soigneux n'ayant pas exécuté spécialement de nicols peut arriver ainsi à en faire de bons et très peu excentrés.

Les nicols exécutés par ces procédés pourront plus tard, à la suite d'usure, être *repolis* dans ces mêmes outils, car les faces mates servant de *guides* sont conservées, c'est un avantage très important: cela ne peut se faire avec les anciens nicols dont les faces mates ne sont qu'*à peu près* parallèles aux clivages, et jusqu'ici, quand on retouchait le poli d'un nicol, on rendait celui-ci *moins bon* qu'auparavant.

Les pièces V servent aussi à faire les bouts des prismes de Foucault; il faut une autre série de pièces pour faire les intérieurs, l'angle étant différent de celui du nicol.

Surfaces. — Le spath est une matière tendre; il se polit facilement, mais on ne peut pas obtenir de surfaces planes, comme avec le verre ou le quartz; on fait tous ses efforts pour éviter de trop *rabattre* les bords; les surfaces sont plutôt convexes, mais non sphériques.

Le nicol comporte deux défauts principaux, très sensibles, quand on veut l'employer avec un certain grossissement, dans une lunette par exemple.

1° L'image n'est pas très souvent *nette;* cela tient aux surfaces qui ne sont pas planes et, de plus, sont traversées assez obliquement par la lumière;

2° Elle est presque toujours *excentrée,* parce que les faces ne font pas avec l'*axe* du spath les angles voulus.

J'indiquerai le moyen suivant qui permet d'améliorer beaucoup un nicol quelconque. On le vérifie d'abord au moyen de l'appareil à contrôler les systèmes optiques par *réfraction* (1), et l'on constate le sens et la grandeur de l'excentricité de l'image; on choisit ensuite deux glaces donnant une déviation analogue et on les colle au baume de Canada, dans le sens convenable sur les bouts du nicol, on corrige ainsi les deux défauts à la fois; la *non-planéité* des surfaces et l'*excentricité;* de plus, on *protège* les bouts qui se rayent si facilement. Un mauvais nicol, donnant une image *floue* peut donner une image nette par l'adjonction des glaces. Dans certains cas d'expérience délicate, l'adjonction de ces glaces peut être une objection à cause de la trempe et du collage; on pourra se contenter alors d'une seule glace sur le bout extérieur: on améliorera ainsi une surface sur deux et l'on pourra néanmoins corriger l'excentricité.

On peut aussi examiner les nicols par réflexion en employant une lunette autocollimatrice, on place alors le nicol perpendiculairement à un plan de verre (argenté pour avoir plus de lumière). Les défauts sont alors *doublés,* ce qui les rend plus apparents et permet de pousser très loin la vérification; dans ce cas, je crois qu'on pourrait chercher longtemps avant d'en trouver de parfaits.

---

(1) Voir *Séances de la Société de Physique,* p. 77, année 1883.

A égalité de travail, le foucault est inférieur au nicol, quant à la netteté des images ; car, bien que les surfaces intérieures des nicols soient traversées plus obliquement par la lumière que celles du foucault, les défauts des surfaces sont très largement compensés, dans le nicol, par le collage au baume.

Lunettes autocollimatrices. — Dans mes appareils à contrôler les surfaces *planes,* j'emploie des lunettes dans lesquelles les fils du diaphragme sont éclairés par une glace transparente placée à 45°; on examine l'image réfléchie de fils sombres sur un *fond éclairé;* dans ce cas, l'*axe optique* de la lunette est *perpendiculaire* au plan réflecteur; cette condition est indispensable dans certains cas. C'est le premier type.

Les clivages du spath ne donnent pas toujours une image nette ni bien visible, et souvent l'on ne distingue pas l'image des fils *réfléchis.* J'ai combiné un deuxième type de lunette dans lequel on examine l'image réfléchie d'un petit *trou* rond *éclairé* sur *fond sombre.* Ce trou est percé sur le pourtour du diaphragme à fils, il est éclairé par un petit prisme à réflexion totale. Ce dispositif permet de voir mieux, surtout dans le cas de surfaces imparfaites. Dans ce cas, l'axe optique n'est plus tout à fait perpendiculaire au plan réflecteur, ce qui est indifférent dans bien des cas.

Ce deuxième type s'emploie aussi pour d'autres usages ; il permet d'employer la lumière diffuse du jour, on aperçoit mieux de très petites différences de parallélisme ; on apprécie la grandeur de l'erreur par comparaison avec le diamètre du trou, dont on a déterminé la valeur angulaire ; il permet un grossissement plus fort.

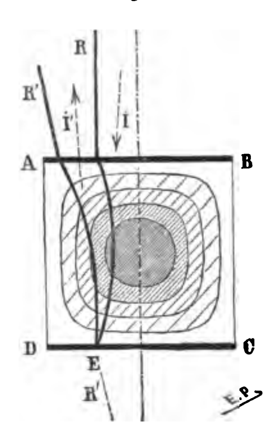
Éclaireurs. — Ils sont à lumière ordinaire et à lumière monochromatique, ils glissent le long d'une tige sur pied, afin de se mettre à des hauteurs très différentes, et peuvent descendre près de la table ; ils portent chacun une lentille éclairante qui projette à $0^m,25$ de la flamme une image de celle-ci. C'est cette image qu'on dirige sur l'objet à éclairer : on a ainsi le maximum de lumière et l'on n'est pas gêné par la flamme qui est, en outre, cachée par des écrans.

Effets produits par la non-homogénéité du verre. Verre trempé;

par M. Léon Laurent.

Soit un cube de verre ABCD (*fig.* 1) de $0^m,04$ de côté. Les deux surfaces AB et CD sont faites *planes* et *parallèles*. En plaçant ce cube sous une lunette autocollimatrice (à petit trou éclairé), les deux images données par la réflexion sur les deux faces coïncident et l'on ne voit qu'une image; mais cela n'arrive pas toujours.

Fig. 1.



J'ai fait travailler deux cubes de matière différente : l'un était très peu trempé, l'autre davantage, mais la matière paraissait d'ailleurs très pure. En les promenant sous la lunette, il n'y avait qu'un espace restreint, vers le milieu, où l'on ne voyait qu'une image; partout ailleurs, on en voyait deux assez écartées et, de plus, l'image provenant de la face inférieure CD n'était pas nette; pour la voir nettement, il fallait sortir l'oculaire de plusieurs millimètres.

J'ai montré cet effet à plusieurs membres de la Société, et leur première impression était que cela devait tenir aux surfaces; elles devaient être concaves ou convexes; or il n'en est rien, les surfaces sont *contrôlées :* le dédoublement tient donc nécessairement

à la matière qui n'est pas suffisamment homogène. L'explication n'en est pas facile; je propose la suivante :

Je supposerai un cube de verre *trempé;* on sait que le verre trempé a une densité un peu plus faible, elle n'est pas uniforme et va en croissant de l'extérieur au centre. Je suppose donc le cube ABCD composé de différentes couches de plus en plus denses et arrondies dans les angles; elles sont indiquées par des hachures.

Le rayon R se réfléchit d'abord sur la face AB et donne une première image nette et centrée, puis il traverse le cube et rencontre *obliquement* des couches de plus en plus denses; il se produira alors un effet analogue à celui du mirage, le rayon se courbera jusque vers le centre; à partir de là, il se courbera en sens inverse et se présentera sur la face CD; dans une direction *oblique* IE, il se réfléchira dans la direction symétrique EI′; mais, à partir de E, le rayon se courbera de nouveau et, finalement, il sortira de AB *obliquement* et comme s'il émanait d'un point *éloigné* (mais non plus situé à l'infini).

Si le centre du cube est dans l'axe de la lunette, la deuxième image, réfléchie par CD, se fera sur l'axe de la lunette : elle n'aura pas tout à fait le même foyer que la première image, provenant de la face AB; mais il y aura *superposition* et il semblera qu'on n'a qu'une image.

Si l'on déplace le cube, la lunette visera en dehors du centre : en combinant deux rayons, l'un passant près du centre et l'autre loin, on verrait qu'ils semblent émaner d'un point moins éloigné et situé *en dehors* de l'axe; son image sera donc séparée de la première et la différence de foyer plus accentuée.

C'est un cas analogue à celui que j'ai constaté dans le travail des objectifs (*voir* p. 76); la matière, qui paraît bonne au début, peut ne pas toujours répondre à la précision du travail exécuté au moyen de ces méthodes, et cela doit arriver plus souvent qu'on ne le pense généralement.

J'ai supposé du verre *trempé*, pour faciliter l'explication; mais il est évident que la non-homogénéité de la matière, provenant d'une cause quelconque, doit produire des effets analogues.

SÉANCE DU 21 MAI 1886.

PRÉSIDENCE DE M. SEBERT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 7 mai est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. Deselligny (l'abbé), à l'archevêché de Rouen.
Deselligny, au 28e Régiment d'Infanterie, à Rouen.
Préaubert (E.), Professeur au Lycée d'Angers.
Rousselot (l'abbé), à Paris.

M. le Secrétaire général présente, de la part de M. Weyher, des brochures ayant pour titres : *Le Mécanisme des trompes; le Mécanisme de l'Univers.* — De la part de M. Buguet, les cinq premiers numéros du *Journal de Physique, Chimie et Histoire naturelle élémentaires*, et enfin une Note de M. Delaurier *Sur un procédé pour observer et photographier le Soleil et les éclipses sans télescope et sans objectif.*

M. Hugoniot fait la Communication suivante sur la vitesse limite d'écoulement des gaz.

M. Hirn a exécuté récemment (1) une importante série d'expériences en vue de rechercher s'il existe une vitesse limite d'écoulement des gaz comme l'indique la formule bien connue de Weisbach ou de Zeuner. De l'air à la pression et à la température ordinaires, renfermé dans un gazomètre, s'écoulait par un orifice dans un réservoir où l'on avait fait le vide aussi complètement que possible au moyen d'une trompe à eau. On notait à des instants séparés par des intervalles égaux l'abaissement du gazomètre et la pression dans le réservoir, ce qui permettait d'évaluer le débit en fonction de la pression dans le réservoir. C'est au moyen de ces données que M. Hirn calculait les vitesses d'écoulement. D'après ses conclusions, cette vitesse aurait dépassé dans certains cas 4000^m et même 5000^m; elle augmenterait du reste au delà de toute limite, si la pression dans le réservoir pouvait décroître indéfiniment.

Les expériences, conduites avec un soin extrême, sont de nature à inspirer toute confiance; mais la méthode employée par leur auteur pour le calcul des vitesses d'écoulement soulève de très graves objections.

Soient W le débit, c'est-à-dire la masse de gaz écoulée dans l'unité de temps, p_0 la pression et ρ_0 la densité dans le gazomètre, p la pression dans le réservoir, ω la section contractée de la veine et V la vitesse moyenne du gaz dans cette section; il est clair que, si l'on désigne par ρ la pression dans

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, mars 1886.

la section ω, on a

$$V = \frac{W}{\omega\rho};$$

mais la densité ρ est inconnue et rien, dans les expériences, ne pouvait servir à la déterminer. Tout ce que l'on peut affirmer, c'est que cette densité ρ était inférieure à la densité ρ_0 dans le gazomètre; la vitesse V était donc supérieure à la quantité

$$V_0 = \frac{W}{\omega\rho_0}.$$

Dans les expériences de M. Hirn, il a été constaté que le débit W diminuait à mesure que la pression dans le réservoir allait en croissant; toutefois ce débit restait presque constant tant que la pression dans le réservoir restait inférieure à 4^m d'eau, c'est-à-dire à près de la moitié de la pression dans le gazomètre. Les valeurs de V_0 qui correspondent à ces premiers instants du mouvement ont été trouvées égales à 260^m, 264^m, 204^m, 199^m, 290^m.

On a évidemment

$$V = V_0 \frac{\rho_0}{\rho}.$$

Pour évaluer le rapport $\frac{\rho_0}{\rho}$, M. Hirn suppose que, dans la partie contractée de la veine, la pression est égale à la pression moyenne p dans le réservoir. Regardant la transformation subie par le gaz comme adiabatique, il prend donc $\frac{\rho_0}{\rho} = \left(\frac{p_0}{p}\right)^{\frac{1}{m}}$, m désignant le rapport des chaleurs spécifiques; il trouve ainsi qu'au début de ses diverses expériences, où la pression p était de $0^m,136$ d'eau, les vitesses d'écoulement devaient avoir des valeurs égales à 5555^m, 5691^m, 4374^m, 4248^m, 4362^m.

Mais l'hypothèse faite par M. Hirn ne paraît pas de nature à être admise. Quelque faible que soit, au début de l'expérience, la densité du gaz que la veine rencontre à sa sortie de l'orifice, elle n'en éprouve pas moins, en raison de sa grande vitesse, une énorme résistance qui détermine dans la veine un surcroît de pression considérable. La valeur qu'il faut attribuer à la densité ρ dans l'orifice est certainement beaucoup plus grande que celle qui a été admise par M. Hirn.

La remarquable constance du débit signalée dans les premiers instants donne même lieu de supposer que la pression dans l'orifice n'est jamais devenue inférieure à 4^m d'eau et qu'elle est sensiblement indépendante de la pression dans le réservoir quand cette dernière est plus petite que 4^m d'eau.

Quant à la question de savoir s'il existe ou non une limite à la vitesse d'écoulement d'un gaz, elle ne peut en aucune façon être résolue par des expériences de ce genre. Cette limite est, d'ailleurs, purement théorique; car, pour la calculer, on admet que les gaz conservent les mêmes propriétés jusqu'au zéro absolu de température. On sait que la formule de Zeuner, rela-

tive au mouvement permanent, assigne à cette limite la valeur $a\sqrt{\frac{2}{m-1}}$, a désignant la vitesse du son dans le gaz.

Mais l'étude analytique du mouvement le plus général d'un gaz dans un tuyau cylindrique a conduit M. Hugoniot à une valeur beaucoup plus élevée, savoir $a\frac{2}{m-1}$, ce qui donnerait, pour l'air atmosphérique, environ 1650^{m}.

M. Violle remarque que, dans la théorie cinétique des gaz, les vitesses individuelles de certaines molécules peuvent être très supérieures à la vitesse moyenne d'agitation, d'où il résulte qu'une vitesse d'écoulement très grande n'est pas impossible au début du phénomène.

M. Th. Schwedoff rend compte d'un phénomène thermomagnétique. Le fer porté à l'incandescence n'est plus attiré par un aimant. Si l'on approche un aimant d'un anneau de fer horizontal, porté par un axe vertical, et que l'on chauffe au rouge vif une moitié de l'anneau, celui-ci entre en giration continuelle, à la condition que le pôle de l'aimant se trouve entre la partie chaude et la partie froide de l'anneau. Ce travail de rotation est entretenu aux dépens de la chaleur, dont une certaine quantité disparaît dans le fer de l'anneau.

Voici le procédé de cette transformation, d'après M. Schwedoff.

Si l'on approche du pôle d'un aimant une armature de fer, les axes magnétiques des molécules de l'armature tendent à s'orienter d'une nouvelle manière. Mais deux forces s'opposent à cette orientation : l'action mutuelle des molécules et l'élasticité magnétique dont dépend le coefficient d'aimantation. Si l'on porte l'armature à l'incandescence, le coefficient de cette élasticité augmente; cette force l'emporte sur l'action du pôle et ramène les molécules à leur direction primitive. C'est pour effectuer ce dernier travail qu'est dépensée la chaleur dont il était question.

M. Boudet de Paris présente des épreuves photographiques qu'il a obtenues sans objectif, soit par l'électricité, soit par la lumière réfléchie d'une lampe Carcel.

Les premières épreuves ont été obtenues à l'aide de l'effluve électrique, en posant simplement l'objet à représenter (pièce en relief, cachet gravé en creux, dessin, photographie, etc.) sur une plaque au gélatinobromure d'argent et faisant éclater tout autour des étincelles produites par une machine de Voss.

Dans une deuxième série d'expériences, la photographie a été obtenue avec la lumière réfléchie d'une lampe Carcel : la plaque était posée sur un miroir plan, le côté sensible en haut; l'objet placé directement sur la plaque était maintenu à l'aide d'une feuille opaque. On exposait le tout pendant quelques secondes à la lumière d'une lampe Carcel.

Dans une troisième série, l'objet formait l'armature d'un condensateur dont le diélectrique était la plaque sensible et dont la deuxième armature était représentée par une plaque métallique servant de support. Le condensateur,

chargé à l'aide d'une machine de Voss, était déchargé avec un excitateur.

Dans ces trois séries d'expériences, les images des objets de toute espèce ont été obtenues avec beaucoup de netteté et dans leurs moindres détails. Lorsque la pièce à reproduire présente des reliefs, les saillies sont reproduites en blanc et les creux en noir. Le troisième mode d'opération, à l'intérieur d'un condensateur, est celui qui a donné les résultats les plus parfaits.

Enfin M. Boudet de Pâris a cherché à obtenir des reproductions analogues à l'aide du courant galvanique, en faisant passer le courant à l'intérieur d'un bain de l'objet à la plaque, ou inversement de la plaque à l'objet, mais jusqu'à présent ces essais n'ont pas donné de résultats bien satisfaisants.

M. Hillairet rend compte d'un phénomène remarquable qu'il a observé pendant les essais du paquebot *la Champagne,* de la Compagnie Transatlantique. Ces essais ont eu lieu par mer calme sur les bases de Belle-Isle au commencement du mois de mai.

Pendant les grandes vitesses, il se forme à l'extrême courant une grande quantité de sphéroïdes d'eau qui s'élèvent au-dessus de la masse liquide et semblent décrire, par rapport à l'observateur placé à bord, une espèce de trajectoire parabolique.

Parmi ces sphéroïdes, les uns, de petite dimension, parcourent toute leur trajectoire sans présenter aucune modification dans leur forme.

Les autres, au contraire, dès l'origine de leur course, s'aplatissent graduellement au centre, puis le centre crève, et le solide se transforme en un véritable tore ou *anneau* dont l'axe est vertical.

La plupart de ces anneaux, vers la fin de leur course, se résolvent en gouttelettes irrégulières; quelques-uns, en nombre extrêmement restreint, se résolvent en sphéroïdes réguliers, lancés dans l'espace tangentiellement au cercle de giration du tore primitif et restent animés du mouvement de translation commun.

M. Hillairet n'a pu observer ceux-ci que très rarement, et seulement pendant les quelques essais à pleine vitesse.

Le phénomène des anneaux simples devient facilement visible à partir de la vitesse de 17 nœuds environ.

Le phénomène acquiert toute son intensité et devient très régulier à la vitesse maxima obtenue, soit 19,37 nœuds, qui correspond à un déplacement de $9^m,96$ par seconde.

A ce moment, la puissance développée sur les pistons de la machine de l'hélice était 9500 chevaux. La longueur du bateau est de 150^m entre perpendiculaires. Sa largeur au maître-couple, hors membres, est de 15^m.

On peut rapprocher de ce phénomène les résultats de certaines expériences de Plateau venant à l'appui des recherches antérieures sur la formation des systèmes planétaires.

Ce phénomène, qui n'a jamais été ni décrit ni observé, paraît résulter des vitesses élevées obtenues et de la finesse des lignes d'eau du bateau.

Sur la vitesse limite d'écoulement des gaz;

par M. HUGONIOT.

Quand deux réservoirs A et B, contenant un même gaz à des pressions différentes p_0 et p_1, telles que p_0 soit supérieur à p_1, sont mis en communication, il s'établit un écoulement du réservoir A dans le réservoir B. Si les pressions p_0 et p_1 varient très lentement, on peut regarder le mouvement comme permanent, sauf peut-être dans les premiers instants. Il se forme alors une veine dans laquelle la pression diminue de p_0 à p_1 quand on se déplace le long de cette veine, dans le sens du mouvement. La vitesse, nulle dans la partie de la veine où la pression est p_0, croît à mesure que l'on s'en éloigne et atteint sa plus grande valeur dans la section où la pression est devenue p_1. C'est à cette valeur maximum que l'on donne d'habitude le nom de *vitesse d'écoulement*.

Lorsque la pression p_1 diminue, la pression p_0 restant constante, la vitesse d'écoulement se montre croissante. On peut se demander si elle converge vers une limite finie quand p_1 tend vers zéro ou si, au contraire, dans ces conditions, elle augmente indéfiniment.

On sait que la Thermodynamique conduit à représenter la vitesse d'écoulement V par la formule dite de Weisbach ou de Zeuner

$$V = a\sqrt{\frac{2}{m-1}}\sqrt{1-\left(\frac{p_1}{p_0}\right)^{\frac{m-1}{m}}} \text{ (1)},$$

m désignant le rapport des chaleurs spécifiques et a la vitesse normale du son qui correspond à la pression p_0 et à la densité ρ_0 dans le réservoir A, savoir $\sqrt{\frac{mp_0}{\rho_0}}$. D'après cette formule, la vitesse V convergerait, quand p_1 tend vers zéro, vers une limite égale à $a\sqrt{\frac{2}{m-1}}$ qui, pour l'air atmosphérique, pris dans les

(1) Cette formule a été donnée pour la première fois par MM. de Saint-Venant et Wantzel (*Journal de l'École Polytechnique*, t. XVI; 1839).

conditions ordinaires de température et de pression, serait d'environ 735^m.

M. Hirn a exécuté dans ces derniers temps une importante série d'expériences en vue de rechercher s'il existe réellement une vitesse limite d'écoulement des gaz (1). Il opérait sur l'air atmosphérique; la pression p_0 était égale à la pression normale. Quant à la pression p_1, elle variait dans le cours d'une même expérience, mais sa valeur initiale était égale à $0^m,01$ de mercure. M. Hirn mesurait le débit, c'est-à-dire la masse de gaz qui s'écoulait pendant l'unité de temps, et il en déduisait les vitesses d'écoulement. La méthode de calcul qu'il employait l'a conduit, pour les cas où la pression p_1 était très faible, à assigner à ces vitesses des valeurs très considérables, bien supérieures à celles qui sont indiquées par la formule de Zeuner et par les autres formules proposées jusqu'à ce jour. Ainsi, d'après lui, la vitesse d'écoulement aurait été supérieure à 4000^m quand la pression p_1 n'était que de $0^m,01$ de mercure. Il déclare, du reste, que si la pression p_1 convergeait vers zéro, la vitesse en question croîtrait indéfiniment.

M. Hirn s'est attaché spécialement à montrer que ces résultats étaient en contradiction avec la théorie cinétique des gaz; mais on n'arriverait pas davantage à expliquer de semblables vitesses en partant des propriétés physiques qui caractérisent les gaz parfaits, abstraction faite de toute hypothèse sur leur constitution. Il est donc impossible d'admettre ces nombres sans les soumettre à une discussion sérieuse.

Or, pour déduire la vitesse du débit mesuré, M. Hirn était obligé de faire diverses hypothèses dont l'une consistait à admettre que la pression dans l'orifice ou, plus exactement, dans la section contractée de la veine, était toujours égale à la pression finale p_1, quelle que fût la valeur de cette pression. Mais cette hypothèse est complètement inexacte quand la pression p_1 est très faible. La veine conserve encore dans l'orifice une pression bien supérieure à p_1; elle s'épanouit après sa sortie et la pression ne devient égale à p_1 qu'en un point où la veine a déjà subi une grande dilatation. On peut même démontrer que la pression dans la section con-

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, mars 1886.

tractée n'est jamais inférieure à la moitié de la pression initiale p_0 (¹).

Représentant par W le débit, par ω l'aire de la section contractée (²), il est visible que, si le gaz ne subissait pas de dilatation, sa vitesse dans la section contractée serait

$$V_0 = \frac{W}{\omega \rho_0}.$$

Mais, si l'on désigne par ρ_x la densité, par V_x la vitesse réelle dans la section contractée, on a

$$V_x = V_0 \frac{\rho}{\rho_x}.$$

D'ailleurs, en regardant la transformation comme adiabatique, on a

$$\rho_x = \rho_0 \left(\frac{p_x}{p_0}\right)^{\frac{1}{m}},$$

p_x étant la pression dans la section contractée; donc

$$V_x = V_0 \left(\frac{p_0}{p_x}\right)^{\frac{1}{m}} = \frac{W}{\omega \rho_0}\left(\frac{p_0}{p_x}\right)^{\frac{1}{m}}.$$

Les valeurs de V_0 calculées par M. Hirn, pour le cas où la pression p_1 était égale à $0^m,01$ de mercure, ont été, dans diverses expériences, les suivantes :

$$260^m,\quad 264^m,\quad 204^m,\quad 199^m,\quad 200^m,\quad 201^m.$$

En faisant dans la formule ci-dessus $p_x = p_1$, il en a déduit, pour V_x, les valeurs

$$5555^m,\quad 5691^m,\quad 4374^m,\quad 4247^m,\quad 4362^m,\quad 4295^m,$$

(¹) Par une méthode qu'il serait trop long de développer ici, on trouve que la pression dans la section contractée est égale à p_1 si $\frac{p_1}{p_0} > 0,522$, mais que si $\frac{p_1}{p_0}$ est inférieur à 0,522, la pression dans la section contractée est toujours $0,522 p_0$ (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 28 juin et 26 juillet 1886).

(²) M. Hirn déterminait la section contractée ω au moyen d'expériences préalables et la regardait comme indépendante du rapport $\frac{p_1}{p_0}$.

toutes supérieures à 4000^m. De plus, le débit W s'étant montré sensiblement indépendant de p_1 quand cette pression était inférieure à une certaine limite, M. Hirn concluait de la même formule que V_x augmentait indéfiniment quand p_1 convergeait vers zéro.

Mais, ainsi qu'on l'a fait observer, la pression p_x n'était jamais en réalité inférieure à $\frac{1}{2}p_0$; la valeur maximum du rapport $\frac{p_0}{p_x}$ était ainsi égale à 2, de sorte que les vitesses V_x ont été bien moins considérables que ne l'a supposé l'auteur des expériences (1).

Lorsque la pression p_x est supérieure à p_1, la vitesse continue à croître au delà de la section contractée, mais suivant une loi que les expériences ne faisaient pas connaître; ces dernières ne peuvent donc servir à déterminer la vitesse limite d'écoulement. Mais les résultats des expériences étant parfaitement d'accord avec la formule de Zeuner et la vérifiant, tout au moins jusqu'à la section contractée de la veine, il est assez naturel de regarder cette formule comme encore applicable pour la partie de la veine qui se trouve au delà de la section contractée et d'admettre, par suite, pour limite de vitesse d'écoulement, la quantité $a\sqrt{\frac{2}{m-1}}$ indiquée par la formule de Zeuner.

Mais cette valeur correspond au cas particulier du mouvement permanent. Lorsqu'on fait abstraction de la permanence, on trouve une autre vitesse limite, notablement supérieure à la précédente.

Pour définir cette vitesse, on peut considérer un cylindre indéfini dans un sens et renfermant un gaz à la densité ρ_0 et à la pression p_0. La colonne supposée en repos à l'instant initial est limitée en A par un piston de masse M. Les différents mouvements qui peuvent s'y propager sont représentés par des formules que j'ai données dans un travail antérieur (2) et qui conduisent aux conséquences suivantes.

---

(1) La valeur maximum de $\frac{p_x}{p_0}$ étant exactement 0,522, on trouve pour V_x les valeurs suivantes : 412^m, 419^m, 324^m, 316^m, 317^m, 319^m. Elles sont encore exagérées, surtout les deux premières, car la valeur attribuée à la section ω devenait trop faible quand la pression p_1 était très petite.

(2) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences,* 26 octobre 1885.

Si le vide absolu existe à droite du piston A et qu'on l'abandonne à lui-même, ce piston prend une vitesse qui croît avec le temps et qui converge vers une limite indépendante de M. Cette vitesse limite est égale à $\frac{2a}{m-1}$; elle ne serait atteinte qu'au bout d'un temps infini; mais la vitesse de la masse M se rapproche d'autant plus rapidement de sa limite que M est plus petit. Quand on fait converger M vers zéro, la vitesse, au bout d'un temps très petit t, converge vers la limite en question, de sorte que, si la masse M disparaissait, la tranche gazeuse extrême prendrait presque instantanément cette vitesse $\frac{2a}{m-1}$.

On peut encore supposer que, le système étant primitivement en repos, on imprime au piston A une vitesse progressivement croissante et dirigée de manière à dilater le gaz. Quel que soit le mouvement imprimé à ce piston, pourvu que sa vitesse varie d'une manière continue, le vide absolu se produit à l'arrière dès que la vitesse dépasse $\frac{2a}{m-1}$.

Les lois de l'Hydrodynamique et de la Thermodynamique conduisent ainsi à considérer deux vitesses limites d'écoulement: l'une $\frac{2a}{m-1}$ est celle qui se développerait au début de l'écoulement dans le vide absolu; l'autre $a\sqrt{\frac{2}{m-1}}$ est celle qui finirait par être réalisée dans le cas de l'écoulement dans le vide absolu, si le régime permanent parvenait à s'établir. Pour l'air atmosphérique, dans les conditions normales, la première vitesse est d'environ 1650^{m}, tandis que la seconde est à peu près égale à 735^{m}.

Sur un phénomène thermomagnétique;

par M. Th. Schwedoff.

Le fer porté à l'incandescence n'est plus attiré par un aimant. Supposons que nous ayons un anneau horizontal de fer supporté par un axe vertical et mobile autour de cet axe. Si l'on approche un aimant de l'anneau, celui-ci restera immobile, puisque les

forces d'attraction ont une résultante qui passe par l'axe. Mais admettons qu'une moitié de l'anneau soit chauffée par une flamme au rouge vif, tandis que l'autre reste froide. Dans ce cas, le pôle de l'aimant, placé entre les deux moitiés, n'agira que sur la partie froide de l'anneau. L'équilibre ne sera plus possible. La moitié froide sera toujours attirée par le pôle, et il en résultera une gyration continuelle de l'anneau.

Le fait de l'influence de la température sur les propriétés magnétiques du fer est connu de tout le monde ; et même, je ne crois pas que personne avant moi ait eu l'idée de construire un moteur pareil à celui-là. Mais ce qui me paraît avoir un intérêt spécial, ce sont les conclusions qu'on peut tirer de l'expérience que je viens d'indiquer.

Si petit que soit le frottement de l'axe sur lequel tourne l'anneau, c'est toujours une résistance à surmonter, un travail à effectuer. Il faut bien que quelque chose soit dépensé ou perdu pour produire ce travail.

Évidemment, ce ne sont pas les forces magnétiques seules qui travaillent ici. Ces forces, on le sait, ont un potentiel, et une force pareille ne peut pas fournir un travail illimité ; autrement on aurait un mouvement perpétuel. L'attraction exercée par l'aimant ne peut pas être ici l'agent du mouvement comme l'élasticité de la vapeur ne l'est pas dans une machine à vapeur.

L'idée naturelle serait que le mouvement de l'anneau est entretenu aux dépens de la chaleur perdue, c'est-à-dire que, à part la chaleur dépensée pour élever la température de l'anneau et la chaleur dispersée dans l'air ambiant, une certaine quantité de chaleur se transforme en travail et disparaît comme chaleur. Le moteur dont il s'agit ne serait qu'un genre particulier des machines caloriques.

Mais cette transformation de la chaleur perdue en travail exige une explication détaillée.

Réduisons l'expérience au schéma le plus simple.

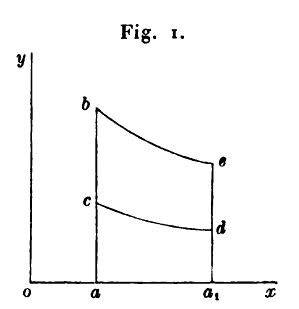
Imaginons-nous une balle de fer suspendue à un fil vertical. Approchons de cette balle le pôle nord d'un aimant. Les molécules du fer dont les axes magnétiques étaient dirigés, à l'état neutre, dans tous les sens, tendent à s'orienter de manière à tourner leurs pôles sud vers l'aimant. Mais deux forces s'opposent à cette nou-

velle orientation : c'est d'abord l'action mutuelle des aimants moléculaires dans leur position nouvelle, et puis la force inhérente à la matière de la balle et dont dépend le coefficient d'aimantation. Je compare cette force à l'élasticité et je l'appellerai *élasticité magnétique*. L'action simultanée des trois forces détermine l'orientation définitive des molécules de la balle. Celle-ci acquiert un certain moment magnétique et s'approche du pôle de l'aimant.

Portons la balle à l'incandescence. Mon hypothèse est que la température influe sur le coefficient de l'élasticité magnétique et que, dans le voisinage de la température du rouge vif, ce coefficient augmente avec la température. Il en résulte que l'équilibre des trois forces n'est plus possible. La force de l'élasticité magnétique, devenue plus grande, l'emporte sur l'action du pôle et ramène les axes des molécules à peu près à leur direction primitive. La balle se désaimante et revient à sa place.

Or, pour ramener les axes des molécules à leur direction initiale un travail est nécessaire, et c'est pour effectuer ce travail qu'est dépensée la chaleur dont il était question.

Fig. 1.



Ce mode de transformation de la chaleur en travail mécanique n'offre rien d'exceptionnel. Une bande de caoutchouc, étirée par un poids considérable suspendu à un de ses bouts, se raccourcit sous l'action de la chaleur et fait remonter le poids. Il en résulte que la force élastique de la bande augmente avec la température. En même temps, il se produit un travail mécanique et une certaine quantité de chaleur disparaît de la bande : celle-ci se refroidit sensiblement. J'ajouterai que le jeu de nos machines à vapeur n'est autre chose qu'une transformation de la chaleur en travail mécanique par l'intermédiaire de la force élastique de la vapeur d'eau.

Cette manière de voir nous permet d'appliquer à l'étude du thermomagnétisme le procédé graphique dont on se sert dans la thermomécanique.

Désignons par r (*fig.* 1) la distance entre le pôle de l'aimant et la balle de fer et par f la force de leur attraction mutuelle. Portons r sur l'axe des abscisses et f sur l'axe des ordonnées. A un certain moment ces coordonnées sont $r = oa$, $f = ab$. Si l'on porte la balle à l'incandescence, l'attraction diminue sans que la distance varie, et il vient $r = oa$, $f = ac$. Écartons la balle du pôle : la distance et la force varient en même temps, et elles deviennent $r = oa'$, $f = a_1 d$. Laissons refroidir la balle à sa température initiale. La force d'attraction augmente et l'on a $r = oa_1$, $f = a_1 e$. Ramenons la balle à sa position initiale. La distance et la force redeviennent $f = ab$, $r = oa$. Il est évident que le travail dépensé par la force extérieure est égal à l'aire aa_1dc; le travail dépensé par la force d'attraction est égal à l'aire aa_1eb, et le travail total gagné par la force extérieure est égal à l'aire limitée par le circuit fermé $cdeb$. C'est aussi la mesure de la chaleur absorbée dans la balle.

Il est évident aussi qu'on peut créer de la chaleur dans la balle si l'on renverse l'ordre de la transformation indiquée, c'est-à-dire si l'on écarte la balle du pôle quand elle est froide et si on la rapproche quand elle est portée à l'incandescence.

Mais il en résulte aussi qu'on n'a ni absorption ni dégagement de chaleur si la température de la balle reste constante dans tous ses déplacements, à la condition que la balle revienne à sa position primitive. L'acte d'aimantation et de désaimantation successives n'est pas capable de modifier l'état thermique d'une armature de fer.

Il va sans dire que je fais abstraction des courants induits qui accompagnent la variation du moment magnétique de l'armature. Des courants pareils dépendent de la conductibilité de l'armature et peuvent avoir lieu dans le cuivre aussi bien que dans le fer.

SÉANCE DU 4 JUIN 1886.

PRÉSIDENCE DE M. SEBERT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 21 mai est lu et adopté.

Est élu membre de la Société :

M. Rousseau (Paul), fabricant de produits chimiques, à Paris.

M. le Président annonce que M. le Ministre de l'Instruction publique et des Beaux-Arts a bien voulu accorder à la Société une allocation de 240fr pour la publication des Mémoires.

M. Schwedoff, professeur de Physique à l'Université d'Odessa, communique le résultat de ses recherches sur la nature des mouvements cycloniques de l'atmosphère.

D'après la théorie de M. Faye, les mouvements cycloniques prennent naissance dans les couches supérieures de l'atmosphère; c'est son hypothèse. La conséquence en est que les girations descendent et refoulent vers le sol l'air des hautes régions. Par contre, l'hypothèse de la majorité des météorologistes est que l'aspiration et la giration de l'air commencent dans le voisinage du sol, et la conséquence en est que l'air des couches inférieures remonte vers les régions élevées.

M. Schwedoff émet l'avis que ces deux théories sont toutes les deux en contradiction avec l'expérience. Le fait est que les conséquences des météorologistes dérivent de l'hypothèse de M. Faye et *vice versa*.

Cette thèse est démontrée par l'expérience suivante. Un vase parallélépipédique formé de glaces de verre contient certaines solutions de sels, disposées dans l'ordre de leurs densités. On imprime un mouvement giratoire aux diverses couches de ces solutions et l'on observe que les tourbillons sont descendants si la giration du liquide commence en bas, et qu'ils sont ascendants si la giration commence en haut. M. Schwedoff explique la raison de ces mouvements et conclut que les girations cycloniques de l'atmosphère ne commencent ni en haut ni en bas. Elles se forment d'un coup, depuis les limites de l'atmosphère jusqu'au sol.

M. Cailletet expose le résultat d'expériences faites en collaboration avec M. E. Mathias, relativement à la mesure de la densité des gaz liquéfiés et de leurs vapeurs saturées. Les difficultés et les dangers qu'on éprouve à manier ces corps sous des pressions élevées n'ont pas permis aux premiers expérimentateurs d'obtenir des données un peu précises sur la densité des gaz liquéfiés. D'autre part, seule, la densité de la vapeur d'eau saturée a été mesurée expérimentalement par Fairbairn et Tate.

MM. Cailletet et Mathias se sont proposé de mesurer ces deux sortes de

densités au moyen d'appareils en verre, d'une grande simplicité, pouvant résister à des pressions de plus de cent atmosphères. Ces appareils sont disposés de telle sorte qu'une même masse de gaz peut, sans crainte de perte ou de mélange, être condensée dans le tube où on l'étudie, et cela autant de fois que l'expérience l'exige.

I. Le point de départ est la mesure de la densité de vapeur saturée. On se sert, pour cela, d'un tube de verre épais, exactement jaugé et soudé à un réservoir cylindrique d'environ 60^{cc}, ouvert au bas. Le réservoir est vissé sur l'éprouvette de l'appareil Cailletet. Le réservoir a été rempli préalablement d'un poids connu de gaz pur et sec. Le tube gradué est maintenu à température constante. On liquéfie partiellement le gaz dans le tube, puis on décomprime lentement jusqu'à ce que la dernière trace de liquide disparaisse, ce que l'on apprécie avec précision au moyen d'une lunette. Un calcul facile donne la densité de la vapeur saturée. Les premières recherches ont porté sur le protoxyde d'azote, l'éthylène et l'acide carbonique.

II. On mesure la densité des gaz liquéfiés au moyen d'un tube en forme d'O, long de $0^m,50$, relié par un tube en verre recourbé à un réservoir d'environ 600^{cc} fixé au moyen d'un écrou sur une grande éprouvette en acier renfermant du mercure.

Lorsque l'on comprime le gaz contenu dans le réservoir et qu'on refroidit l'une des branches verticales du tube en O, le gaz liquéfié vient distiller dans cette branche et déprime le mercure; on élimine la capillarité en condensant un peu de liquide dans la seconde branche.

Soient h la différence des hauteurs du liquide condensé dans les deux branches et x la densité de ce liquide.

Soient h' et δ la dénivellation du mercure et sa densité, et d la densité de la vapeur saturée à t°, on a

$$hx = h'\delta + (h - h')d,$$

d'où l'on tire x.

Les expériences ont porté sur le protoxyde d'azote, l'éthylène et l'acide carbonique.

Les méthodes précédentes s'appliquent à tous les gaz dont le point critique est supérieur à la température de congélation du mercure.

On sait que M. Sarrau a pu calculer, au moyen des Tables de Clausius, les volumes spécifiques de l'acide carbonique à l'état de liquide et de vapeur saturée.

Les expérimentateurs ont comparé leurs résultats à ceux de M. Sarrau. Pour la densité de vapeur, l'accord est parfait. Quant au liquide, il y a sensiblement accord au-dessous de zéro; au-dessus de zéro, les nombres trouvés par l'expérience sont un peu plus grands que les nombres calculés.

Dans la construction graphique des densités, chaque corps donne deux courbes qui se raccordent au point critique, et l'on trouve que le diamètre conjugué des cordes verticales est sensiblement une droite peu inclinée sur l'axe des abscisses. De là un moyen pratique de déterminer graphiquement

la densité au point critique quand on connaît la température critique. On trouve ainsi :

Acide carbonique	0,46
Protoxyde d'azote	0,41
Éthylène	0,22

Enfin l'examen des courbes montre ce qu'on sait depuis Thilorier et Drion, c'est que la dilatation du gaz liquéfié est plus grande que celle de sa vapeur.

M. VASCHY expose le résultat de calculs qu'il a faits en vue de déterminer la vitesse de propagation de l'électricité le long d'un fil conducteur rectiligne.

Après avoir rappelé les tentatives faites par Wheatstone, Fizeau et Gounelle, etc., pour mesurer cette vitesse, ainsi que la théorie de la propagation établie par Sir W. Thomson en partant de l'équation connue

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = CR\frac{\partial V}{\partial t}, \tag{1}$$

il fait observer que cette théorie conduit à une vitesse infinie, mais qu'il suffit, pour trouver une vitesse finie et indépendante de la longueur du fil conducteur, de tenir compte, non seulement de la capacité C et de la résistance R, mais encore de la self-induction L du fil. L'équation précédente ainsi complétée devient

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = CR\frac{\partial V}{\partial t} + CL\frac{\partial^2 V}{\partial t^2}. \tag{2}$$

Elle est de même forme que l'équation des cordes vibrantes que l'on obtient en tenant compte de la tension T, de la masse ϖ par unité de longueur et de la résistance de l'air (coefficient k), savoir

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{k}{T}\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\varpi}{T}\frac{\partial^2 y}{\partial t^2}.$$

La vitesse de propagation du mouvement le long de la corde est $a = \sqrt{\frac{T}{\varpi}}$.

Par analogie, la vitesse de propagation de l'électricité est donc $a = \frac{1}{\sqrt{CL}}$.

Les ondes électriques, toutefois, sont déformées ou diffusées d'autant plus que la résistance R est plus grande, et rigoureusement il n'y aurait lieu de les considérer comme se propageant avec une vitesse uniforme que dans le cas limité où R serait nul ou négligeable.

Si l'on fait le calcul de la vitesse a pour un fil aérien de diamètre *infiniment petit,* les formules de C et de L conduisent à la valeur $a = u$. u étant le rapport des unités électrostatiques et électromagnétiques, c'est-à-dire environ 300000^{km} par seconde.

On trouve le même résultat en considérant la propagation de l'électri-

cité sur deux fils parallèles isolés dans un diélectrique indéfini, en tenant compte de l'induction mutuelle et de la self-induction de ces fils, ainsi que de leur capacité électrostatique.

L'équation générale (2), en tenant compte de la résistance R, admet la solution $V = e^{-bx} \sin m\left(t - \frac{x}{a}\right)$, m, a et b étant des constantes. Donc, à part le coefficient d'affaiblissement e^{-bx}, on peut dire que des ondes sinusoïdales se propagent avec une vitesse a, laquelle est inférieure à $\frac{1}{\sqrt{CL}}$. L'extrémité du fil étant à la terre, les ondes s'y réfléchissent, et les ondes d'aller et de retour par leur superposition donnent des nœuds et des ventres, dont la position peut être déterminée au moyen d'un électrodynamomètre et fournir une valeur de la vitesse a.

L'équation (2) ne peut être établie et n'a plus de sens au point du fil où l'onde commence à arriver, ni en un point où la variation du courant serait trop brusque. Elle n'est donc qu'une approximation, très suffisante en général, mais qui, dans des cas extrêmes, conduirait à des vitesses aussi grandes qu'on le voudrait, ce qui est absurde.

M. Vaschy rappelle enfin que Maxwell a établi sa théorie électromagnétique de la lumière dans le cas de milieux homogènes indéfinis, soit diélectriques, soit imparfaitement isolants, soit bons conducteurs. Dans le cas d'un milieu conducteur, il arrive à une équation analogue à l'équation (1), qui est aussi celle de Fourier pour la propagation de la chaleur; mais la résistance R y est remplacée par la conductibilité.

M. Hugoniot fait observer que l'équation

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = CR\frac{\partial V}{\partial t} + CL\frac{\partial^2 V}{\partial t^2},$$

étant supposée rigoureusement établie, fournit pour la vitesse de propagation une valeur constante et égale à $\sqrt{\frac{1}{CL}}$.

Il faut pour cela définir la vitesse de propagation de l'électricité de la façon suivante : Un fil conducteur étant primitivement à un potentiel V_0, on fait varier d'une manière continue le potentiel de son extrémité. Il arrive alors qu'à chaque instant le fil est séparé pour un point A en deux parties : dans l'une le potentiel est encore égal à V_0, dans l'autre il est variable; la vitesse du point A est la vitesse de propagation de l'électricité.

M. Cornu fait remarquer que l'on revient, par la force des choses, à la notion d'une propagation de l'électricité proportionnelle au temps, notion abandonnée pendant de longues années, malgré les résultats expérimentaux de MM. Fizeau et Gounelle, pour chercher à identifier cette propagation à la diffusion de la chaleur. Les expériences récentes de M. Werner Siemens et de M. Hagenbach sur la propagation à travers les fils aériens ont

confirmé les idées de MM. Fizeau et Gounelle. La pratique télégraphique avait d'ailleurs montré que, même dans les câbles, le rendement est en raison inverse plutôt de la longueur que du carré de la longueur du câble; résultat tout à fait favorable à l'existence d'une vitesse de propagation constante (*Comptes rendus*, t. LXXXVI, p. 1120).

M. Lippmann dit que les conclusions de M. Vaschy sont d'accord avec celles que M. Kirchhoff avait établies en 1857. Ce physicien a montré qu'une perturbation électrique se propage dans un fil infiniment mince avec une vitesse égale à celle de la lumière. Le travail de M. Kirchhoff peut être considéré comme le point de départ de la théorie électromagnétique de la lumière.

Sur la nature des mouvements cycloniques de l'atmosphère;

par M. Th. Schwedoff.

D'après l'opinion de M. Faye, les mouvements gyratoires de notre atmosphère prennent naissance en haut, dans la couche des cirrus; c'est son hypothèse. La conséquence en est que ces gyrations descendent et refoulent vers le sol l'air froid et relativement sec des hautes régions. Par contre, l'hypothèse de la majorité des météorologistes est que l'aspiration et la gyration de l'air commencent en bas, dans le voisinage du sol, et la conséquence en est que l'air chaud et humide des couches inférieures remonte vers les régions élevées.

Mon avis est qu'un grave malentendu préside à toutes les discussions sur le siège primitif des gyrations cycloniques. Le fait est que les conséquences des météorologistes dérivent de l'hypothèse de M. Faye et *vice versa*. Si une gyration commence en haut, elle doit avoir pour effet un appel d'air, une ascension des couches inférieures; ou bien, si la gyration se produit dans le voisinage du sol, il doit en résulter une descente de l'air des couches supérieures; de sorte qu'avec les tourbillons ascendants on doit s'arrêter à l'hypothèse de M. Faye, et, en partant de l'idée des tourbillons descendants, on tombe sur l'hypothèse des météorologistes.

Pour prouver cette thèse, je remplace l'atmosphère par deux liquides, deux solutions de sels, choisies convenablement pour imiter réellement ce qui se passe dans l'atmosphère. Ces liquides

sont des solutions, dans de l'eau de source, de carbonate de soude (densité 1,03) et de chlorure de calcium (densité 1,08). Séparés, ces liquides sont incolores, transparents; mélangés, ils forment un précipité blanc, de la craie finement pulvérisée. Un vase parallélépipédique formé de glaces de verre sert à contenir les liquides. Deux disques métalliques horizontaux, portés par deux tiges verticales, plongent dans les liquides et permettent d'imprimer à ceux-ci un mouvement de gyration.

Supposons qu'il s'agisse de gyrations qui arrivent d'en haut, c'est l'hypothèse de M. Faye. On imprime quelques tours à la manivelle qui commande le disque supérieur; aussitôt on voit des filets de nuages se détacher de la couche opaque qui sépare les deux liquides au-dessous du disque. A mesure qu'on accélère la rotation, la surface de cette couche renfle à son centre; les nuages qui en émanent deviennent de plus en plus épais, s'étirent vers le disque en s'enroulant sur l'axe géométrique de rotation. Des veines liquides de la solution inférieure font irruption dans la solution supérieure en dépit de leur densité plus considérable, se frôlent contre le milieu ambiant et dégagent un brouillard du précipité blanc. Il se forme dans le vase un ouragan en miniature. La masse en mouvement forme une espèce de cône droit à génératrice courbe, convexe du côté dirigé vers l'axe du tourbillon. Chaque particule décrit, en s'élevant, une spire hélicoïdale dont le diamètre diminue graduellement.

Ainsi, quand l'origine des gyrations se trouve en haut « et ne se trouve que là », on a en bas le contraire de ce qu'en attend M. Faye : les tourbillons sont centripètes et ascendants. On a les tourbillons des météorologistes.

Passons à l'hypothèse des météorologistes, gyrations partant du sol. On n'a qu'à renverser l'expérience. Donnons quelques coups de rotation au disque intérieur de notre appareil. Maintenant ce sont les couches les plus basses, les plus denses du liquide, d'où partent les gyrations, et l'aspect du phénomène change complètement. La couche opaque qui sépare les deux solutions manifeste une agitation, s'abaisse à son centre et forme une espèce de protubérance dirigée vers le bas. Un groupe d'appendices en forme d'entonnoir se détachent de cette protubérance, s'étirent, s'enroulent dans le sens de la rotation du liquide. D'autres appendices

les suivent, et il s'en forme un cône renversé dont la base est en haut et dont le sommet touche le fond du vase. La figure de cette masse de lambeaux pendillants, tourmentés dans tous les sens par les courants du liquide, ressemble à l'aspect des vrais nuages qui précèdent immédiatement un orage. Encore quelques tours de manivelle et notre orage artificiel éclate. Des flots du liquide supérieur, malgré leur légèreté relative, envahissent les couches inférieures, se mêlent à celles-ci et dégagent une averse du précipité. On s'assure facilement que chaque particule engendre une spire hélicoïdale descendante dont le diamètre diminue progressivement. On a justement ce genre de tourbillons sur lequel insiste M. Faye. Seulement cette fois nous sommes dans l'hypothèse des météorologistes.

La théorie des mouvements gyratoires au sein du liquide, créée par M. Helmholtz et développée par Sir W. Thomson, par Kirchhoff, Beltrami et par d'autres savants, forme une partie très importante de l'Hydrodynamique. Comme je ne peux pas reproduire ici cette théorie dans tous ses détails, j'essayerai de donner une autre tournure au problème qui nous intéresse.

Je pose en principe que l'effet produit sur le milieu ambiant par une colonne d'air en gyration est la résultante des actions partielles de toutes les couches dont cette colonne est constituée. Étant donné qu'une lame fluide circulaire est douée d'un mouvement gyratoire autour d'un axe normal à son plan et passant par son centre, la force centrifuge doit projeter les particules en mouvement vers la périphérie de la lame. Il en résulte une diminution de pression dans la partie centrale de la lame et une force d'aspiration dirigée vers le centre. Sous l'action de cette force, les particules situées au-dessus et au-dessous de la lame affluent vers l'axe de gyration, tandis que les particules contenues dans le plan de la lame, sollicitées par la force centrifuge, s'éloignent de plus en plus de cet axe. La propagation du tourbillonnement dans le milieu ambiant et la diminution progressive de la vitesse linéaire des particules en sont les conséquences nécessaires. Un tourbillon pareil est nécessairement passager; il se dissipe dans le milieu et disparaît, à moins que la gyration de la lame liquide ne soit entretenue aux dépens de forces extérieures, comme cela a lieu dans l'expérience décrite ci-dessus.

Passons maintenant à une colonne d'air en gyration. Je suppose que cette colonne est cylindrique, verticale, et qu'elle se termine en bas et en haut par deux surfaces idéales, pénétrables aux courants du fluide. J'appellerai une colonne pareille *tourbillon à bases ouvertes.*

Désignons par a, b, c, ..., x, y, z les couches consécutives horizontales dont la colonne est composée, et admettons que la vitesse de gyration est la même dans toutes les couches. Dans ces conditions les particules d'une couche quelconque intermédiaire m sont sollicitées par deux forces d'aspiration, celle de la couche l et celle de la couche n. Ces deux forces étant égales et de sens contraires s'entre-détruisent. Il n'y a pas d'aspiration dans les couches moyennes de la colonne. Ce sont les bouts de la colonne, les couches a et z les premières, qui usent leur force vive de gyration à pomper l'air du dehors. Ensuite c'est aux couches b et y à dissiper à leur tour la force vive dans le milieu environnant. Il en résulte que la colonne en gyration se raccourcit et s'élargit jusqu'à ce que sa force vive se dissipe dans le milieu. Un tourbillon à bases ouvertes ne peut pas durer indéfiniment.

Mais il en est autrement si les bases d'une colonne en gyration sont formées, non pas par des plans idéals, mais par des surfaces matérielles, résistantes, impénétrables aux courants du fluide. Dans ce cas, et seulement dans ce cas, la force centrifuge de gyration est partout contre-balancée par la pression du milieu ambiant. Le fluide n'est pas aspiré du dehors dans l'intérieur de la colonne. Les particules ne descendent ni ne remontent le long du tube tourbillonnant; elles ne sont nulle part projetées en dehors de la colonne. La force vive ne se dissipe plus : elle se conserve indéfiniment dans la masse même en gyration. Un *tourbillon à bases fermées* est un état cinétique doué de stabilité parfaite. Il va sans dire que je fais abstraction des frottements des molécules entre elles et contre les parois des bases.

Pour obtenir ce genre de bouillonnement, il n'est pas toujours nécessaire de fermer les bases par des parois solides. On peut y arriver en appuyant une des bases, ou toutes les deux bases sur le niveau libre du fluide; il n'y aura pas d'aspiration aux bases puisqu'il n'y a pas de fluide au delà de ce niveau. Seulement l'abaissement de la pression à l'intérieur de la colonne et le surcroît de

pression à la périphérie du tourbillon seront décelés, à la surface du niveau, par une dépression conique centrée sur l'axe de gyration et par un bourrelet circulaire tout autour de cette dépression, ou bien, pour obtenir un tourbillon fermé, on peut recourber la colonne en forme d'anneau et rapprocher les deux bases l'une de l'autre jusqu'au contact. Dans ce cas aussi il n'y aura pas d'aspiration parce qu'il n'y aura plus de bases. On aura un tourbillon annulaire.

Les mouvements cycloniques de notre atmosphère possèdent une stabilité étonnante : ils peuvent durer des semaines et même des mois. La dissipation finale des cyclones s'explique suffisamment par le frottement des molécules, dont la théorie ne tient pas compte. De là on doit conclure que les cyclones atmosphériques ont toujours leurs bases fermées, d'une part par le sol et de l'autre par le niveau libre de l'atmosphère, et, comme elles s'étendent du haut jusqu'au bas sans interruption, ces gyrations ne commencent ni en haut, ni en bas. Elles s'engendrent tout d'une pièce et d'un seul coup par un procédé dont on ne prévoit pas encore la nature.

Quant aux mouvements d'ascension ou d'aspiration observés dans certains tourbillons, ces mouvements ne plaident nullement en faveur d'une hypothèse quelconque émise jusqu'à ce jour. L'aspiration résulte nécessairement du frottement exercé par le sol sur les molécules de l'air. En vertu de ce frottement, la vitesse de gyration dans le voisinage du sol est moindre que celle à une certaine altitude. Il en résulte que la force centrifuge des couches supérieures l'emporte sur celle des couches inférieures et aspire l'air de ces couches de bas en haut.

SÉANCE DU 18 JUIN 1886.

PRÉSIDENCE DE M. SEBERT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 4 juin est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Leroy, Médecin-major au 6e cuirassiers, au camp de Châlons.
Palaz, Docteur ès sciences, au Bureau international des Poids et Mesures, pavillon de Breteuil.

M. H. Pellat présente à la Société une photographie d'éclairs, obtenue pendant l'orage du 12 mai dernier, par M. Moussette.

Les images des éclairs ont l'apparence d'hélices à spires très rapprochées; M. Moussette pense que l'éclair a réellement une forme hélicoïdale. M. Pellat croit bon d'opposer à cette opinion une remarque qui a été faite par M. Mascart, quand il a vu cette photographie : c'est que les images des éclairs sont constituées, en réalité, par un grand nombre de petits traits parallèles entre eux, qui donnent l'illusion d'une hélice et qui doivent être dus simplement aux aberrations de l'objectif, les deux images qui se trouvent sur la photographie étant loin du centre du champ.

M. Moussette se propose, pour répondre à cette objection, de faire des photographies de l'étincelle électrique en disposant l'image au milieu du champ.

M. Ledeboer communique les résultats de ses recherches sur le coefficient de self-induction. La méthode employée est celle de Maxwell, avec cette différence, toutefois, que l'auteur se sert du galvanomètre apériodique Deprez-d'Arsonval, employé dans des conditions particulières. On donne à la résistance totale du circuit galvanométrique une valeur telle que le mouvement du cadre est apériodique, mais sur le point de devenir périodique; on peut alors employer la formule qui correspond au cas d'un galvanomètre périodique et sans amortissement, pourvu qu'on multiplie le résultat par le facteur e, base des logarithmes népériens.

A l'aide de cette méthode, l'auteur a pu vérifier la proportionnalité entre le champ magnétique produit par un électro-aimant et le produit du coefficient de self-induction par l'intensité du courant, c'est-à-dire la proportionnalité entre le champ magnétique et l'extra-courant. La vérification a porté sur des bobines avec ou sans noyau de fer et sur les inducteurs des machines dynamos du genre Gramme et Siemens. Dans tous ces cas, les variations de l'extra-courant permettent de prévoir les variations du champ magnétique produit.

Finalement, l'auteur a déterminé le coefficient de self-induction de l'anneau Gramme, avec et sans excitation des inducteurs. Les inducteurs étant fortement excités, le coefficient de self-induction de l'anneau diminue de moitié et il est indépendant du courant qui circule dans l'anneau.

Des courbes représentant l'ensemble des résultats obtenus ont été présentées aux membres de la Société.

M. Dufet présente un appareil destiné à mesurer l'angle des axes optiques pour les différentes couleurs du spectre. C'est un microscope polarisant dont l'appareil éclaireur est formé d'un spectroscope à vision directe. Les courbes isochromatiques se projettent sur le spectre, et, en faisant tourner le collimateur du spectroscope au moyen d'une vis micrométrique, on amène au centre du champ la couleur pour laquelle on veut mesurer l'angle des

axes. Le champ étant peu considérable, les mesures se font avec une approximation de 1′.

L'appareil se prête facilement à la mesure des indices par réflexion totale, en recevant dans le microscope polarisant réglé sur l'infini la lumière réfléchie sur la face hypoténuse d'un prisme de flint de 90° derrière lequel la lame cristalline est fixée avec interposition d'un liquide très réfringent. L'erreur est de 1 unité environ de la quatrième décimale.

M. le Dr Raphael Dubois présente une nouvelle machine qui permet de produire des mélanges titrés de liquides vaporisables et de gaz. Cette machine diffère de celle qu'il a primitivement présentée à l'Académie des Sciences et de laquelle M. Paul Bert se servait dans l'application de sa méthode anesthésique. Le volume d'air est mesuré au moyen d'une soufflerie reliée automatiquement à un appareil de dosage du liquide vaporisable, composé d'un piston élévateur qui, en s'enfonçant d'une quantité déterminée et variable, à la volonté de l'opérateur, dans un récipient, chasse de celui-ci une proportion connue du liquide qui y est contenu. Ce liquide est versé par un tube à nivellement dans un vase évaporatoire traversé par le courant du gaz ou de l'air qui pénètre dans la soufflerie. Le gaz mesuré par la capacité fixe de la soufflerie et mélangé à la vapeur du liquide volatilisé peut être ensuite conduit dans divers appareils, selon le but que l'on se propose d'atteindre.

La machine est légère, son volume est inférieur à celui d'un tambour d'infanterie et son maniement est d'une facilité élémentaire.

M. le Dr R. Dubois communique ensuite ses recherches sur la lumière des Pyrophores. La faculté de produire de la lumière est une des plus curieuses propriétés que possèdent les êtres vivants. On constate son existence non seulement chez beaucoup d'animaux terrestres et aquatiques, mais encore chez des végétaux; aussi, en Physiologie générale, pourrait-on lui donner le nom de *fonction photogénique*. D'après M. Raphaël Dubois, elle serait plus répandue qu'on ne le suppose généralement, mais c'est chez les Pyrophores, insectes coléoptères des tropiques, que l'on peut analyser le plus facilement les divers phénomènes d'où résulte l'émission de la lumière et le rôle physiologique des divers organes qui concourent à sa production. Dans un récent Travail intitulé *les Elatérides lumineux*, l'auteur a fait une étude approfondie du développement, de l'anatomie et de la physiologie de ces insectes. La partie expérimentale, jusqu'alors négligée, a reçu des développements importants. Un chapitre de ce Travail a été exclusivement consacré à l'étude des propriétés physiques de la lumière des Pyrophores. Cette lumière offre un ensemble de caractères qui lui donne sur nos foyers d'éclairage ordinaires une supériorité incontestable. Le spectre est continu sans bandes ni raies et presque entièrement composé de jaune et de vert. On sait que, dans la série animale, ce sont ces rayons qui conviennent le mieux à la vision. Les maxima de la courbe spectro-photométrique correspondent précisément aux longueurs d'onde qui donnent pour l'œil humain

le maximum d'intensité visuelle et d'intensité éclairante. Les rayons rouges et bleus sont en très petite quantité; on ne peut rien apercevoir au delà du bleu tendre. L'action photochimique sur les plaques au gélatino-bromure à photographie instantanée est très faible et très lente, relativement au pouvoir éclairant. Cependant, M. R. Dubois a pu présenter à la Société des clichés obtenus au moyen de cette lumière. Les piles thermo-électriques les plus sensibles ne dénotent que des quantités infinitésimales de chaleur rayonnée. Aucune manifestation électrique spéciale ne peut être constatée au sein des organes lumineux. La lumière des Pyrophores produit sur la rétine une impression particulière, analogue à celle que donnent les corps fluorescents, tels que l'esculine et le sulfate de quinine, ce qui s'explique par la présence dans le sang de ces insectes d'une substance jouissant des mêmes propriétés optiques, cette substance fluorescente devenant lumineuse quand on l'expose dans certaines régions du spectre situées dans l'ultra-violet : elle aurait pour rôle de transformer des rayons peu éclairants en rayons de longueurs d'onde moyennes. Les organes lumineux n'émettent pas de lumière polarisée, malgré la présence d'une quantité considérable de petits corpuscules biréfringents qui prennent naissance dans leur intérieur. De nombreuses considérations, relatives à l'action sur les corps fluorescents, sur la chlorophylle, sur la rétine, etc., etc., ne peuvent trouver leur place dans ce court exposé. En résumé, la supériorité de cette lumière sur celle qui est produite par les foyers artificiels est incontestable et l'énergie dépensée pour la produire est très faible, ce qui s'explique par la présence presque exclusive de rayons de longueurs d'onde moyennes dans le spectre et par la nature particulière de sa production. Le rôle des muscles, des nerfs, des trachées et du protoplasma lui-même des cellules au sein desquelles se produit la lumière n'est qu'accessoire. La fonction photogénique peut être réduite à un simple phénomène physico-chimique, analogue à celui qui transforme dans le foie le glycogène en sucre.

Sur un nouveau microscope polarisant; par M. H. Dufet.

Les perfectionnements apportés dans ces dernières années au microscope polarisant ont eu surtout pour but de donner plus de champ à l'instrument; mais ces nouveaux appareils deviennent par là même peu propres à la mesure de l'angle des axes optiques. J'ai cherché à réaliser un instrument qui, tout en produisant avec une perfection suffisante et sur de petits fragments cristallins les courbes d'interférence, permettrait cependant de faire la mesure précise de l'angle des axes, et ceci pour les différentes couleurs du spectre.

L'appareil optique procède du dispositif adopté par M. Bertrand. La lame cristalline placée en G (*fig.* 1) reçoit un faisceau de lumière convergente polarisée en P. Les rayons traversant l'objectif H (objectif n° 3 de Nachet) viennent former à son foyer principal l'image réelle des courbes isochromatiques. Celles-ci sont examinées par un microscope composé de l'objectif I (n° 0 de Nachet) et de l'oculaire à réticule *r*; en A se trouve l'analyseur. On améliore beaucoup l'image par l'emploi d'objectifs de microscope, dont les surfaces focales principales sont très sensiblement planes, au lieu de lentilles simples.

Fig. 1.



La mise au point se fait par le déplacement de l'objectif I et se complète par le tirage de l'oculaire. On obtient ainsi des courbes isochromatiques parfaitement nettes et des hyperboles bien noires permettant un pointé rigoureux. Le champ est faible, il est vrai; mais, le grossissement total n'étant guère plus grand que 1, une rotation d'une minute de la plaque cristalline détermine un déplacement sensible des franges.

L'appareil servant à faire converger les rayons sur la plaque se compose d'un objectif de microscope E précédé d'un nicol. On l'éclaire avec de la lumière blanche ou une lumière monochromatique, telle que celle de la soude.

Pour opérer sur des rayons de réfrangibilité quelconque, on emploie un spectroscope à vision directe. Le collimateur B est mobile à l'aide d'une vis micrométrique V à tête munie d'un tambour divisé T. Après avoir traversé le prisme C et la lentille *l*, les rayons viennent former un spectre réel au foyer principal de l'objectif E; donc, lorsque le système oculaire est disposé de manière à voir nettement les franges, c'est-à-dire réglé sur l'infini, il voit nettement le spectre. Les franges isochromatiques se projettent donc sur le spectre, et, en faisant mouvoir la vis V, on

fait passer dans le champ les différentes couleurs. Une graduation préliminaire de la vis micrométrique, faite soit à l'aide de la lumière solaire, soit à l'aide de lumières de réfrangibilité connue, permet de savoir à quelle longueur d'onde correspond une division donnée du tambour. Les mesures se font ainsi d'une manière continue et pour une région de la plaque toujours la même. Une dispersion de quelques minutes dans les axes optiques, ne produisant sur les hyperboles que des colorations très incertaines, se mesure avec la plus grande facilité.

Pour la mesure des angles, l'appareil procède d'un appareil de M. Von Lang pour la mesure de l'angle des axes optiques. L'axe supportant la plaque cristalline se termine en haut par un cercle complet avec deux verniers à 180°, qui permettent par conséquent de réaliser un centrage satisfaisant. Dans l'appareil que j'ai fait construire, le cercle est divisé en $\frac{1}{3}$ de degré, et le vernier donne les 20″ : cette précision peut sembler exagérée, mais elle permet de se servir de l'appareil comme goniomètre de Wollaston. Quant au réglage de la plaque cristalline, celle-ci est saisie dans une pince et occupe le centre d'une coquille sphérique glissant sur une pièce de même forme supportée par la partie fixe de l'axe; on règle ainsi la plaque sans la faire sortir du champ. Deux mouvements rectangulaires permettent de placer sur l'axe de rotation le point de la plaque que l'on désire examiner.

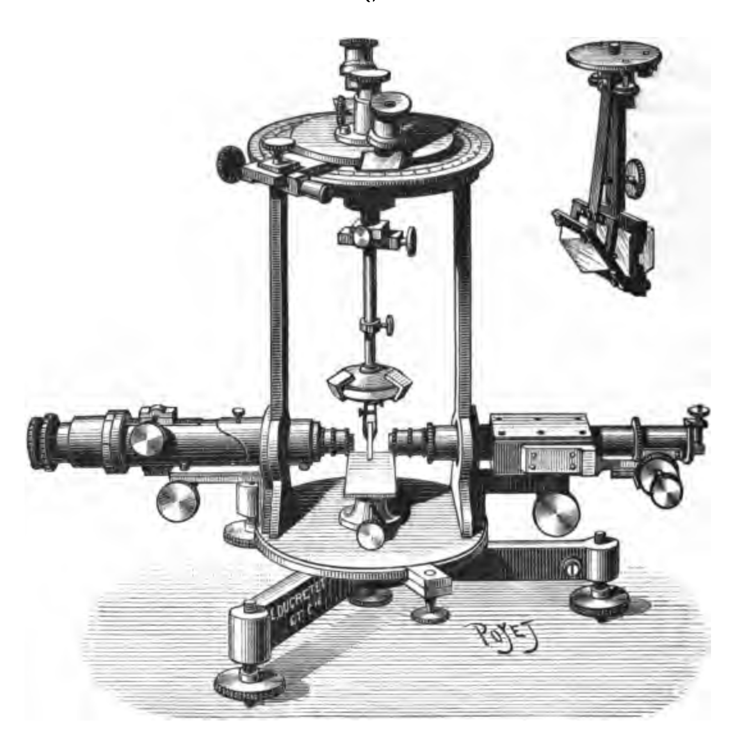
La *fig.* 2 représente l'ensemble de l'instrument à l'échelle de $\frac{1}{5}$. Tout l'appareil tourne autour d'un axe vertical de manière à retrouver un éclairement convenable quand on a déplacé le collimateur. Une petite plate-forme permet de faire les mesures dans l'huile, ou de placer une étuve analogue à celles des microscopes de M. Des Cloizeaux ou de M. Bertrand. D'ailleurs ces dernières mesures sont très facilitées par la distance notable qu'on peut laisser entre les deux objectifs; on voit facilement en effet que la position la plus favorable pour le second objectif est l'anneau oculaire de la lunette astronomique formée par la lentille l et l'objectif E.

Il convient, pour l'usage de l'instrument, d'employer des plaques un peu épaisses, telles que celles qui sont destinées à la pince à tourmalines; dans ces conditions et avec des plaques bien

planes, l'angle des axes se mesure pour toutes les couleurs du spectre, à une minute près environ.

Cet appareil peut servir d'une façon très commode et suffisamment précise à la mesure des indices de réfraction par la méthode de la réflexion totale. On supprime pour cela l'appareil spectroscopique et l'on remplace la pince par une pince à prismes, représentée à côté de l'appareil dans la *fig.* 2, à une échelle un peu


Fig. 2.



plus grande (moitié grandeur). Elle se compose de deux prismes de 90° en flint très réfringent ($n_D = 1,767$) : l'un est fixe; l'autre, porté par la branche mobile de la pince, peut basculer autour d'un axe horizontal, de sorte que sous l'action du ressort une lame à faces parallèles est toujours saisie exactement par les deux prismes, quelle que soit son épaisseur; on interpose entre la

lame et le prisme fixe un liquide de mouillage plus réfringent que la lame (naphtaline bromée, par exemple).

Se plaçant alors en face d'une source monochromatique, comme la lumière de la soude diffusée par un verre dépoli, on fait tourner l'appareil entier et le prisme seul jusqu'à ce que la lumière, réfléchie sur la face hypoténuse et reçue dans la lunette, le soit sous l'incidence correspondant à la réflexion totale. Recommençant la mesure de l'autre côté, l'angle dont le prisme s'est déplacé par rapport au cercle permet facilement de calculer l'indice. Ceci suppose que le prisme soit bien réglé, ce qui peut se faire à l'aide d'une mire éloignée que l'on vise par réflexion sur les faces du prisme. On évitera un réglage trop méticuleux en faisant une mesure comparative avec une lame de quartz perpendiculaire à l'axe et une lame de fluorine dont les indices sont bien connus. Quand la plaque est bien plane, la limite des rayons réfléchis totalement est assez nette pour pouvoir se pointer à 1′ environ; or, une variation de 1′ dans l'angle correspond à une variation de l'indice de 0,000065 pour le quartz et 0,000082 pour la fluorine. On voit qu'avec de bonnes plaques on peut répondre du résultat, à 1 ou 2 unités près du quatrième ordre décimal. Avec l'angle que j'ai adopté pour mes prismes, on peut aller difficilement au delà de l'indice extraordinaire du quartz; ceci suffit pour les sels cristallisés, dont l'étude m'intéressait spécialement. Il serait facile d'ailleurs, en modifiant l'angle des prismes, d'employer la méthode jusqu'à la limite où la réflexion totale cesse d'être applicable ($n = 1,7$). Ce dernier emploi de l'instrument procède de la méthode instituée par M. Bertrand pour la mesure des indices (¹).

De même que la lentille demi-boule de M. Bertrand lui permet de mesurer l'angle intérieur des axes optiques quand les rayons ne sortent plus dans l'air, de même on peut se servir, dans ce cas, de la pince à prismes avec interposition d'un liquide convenable. Ce procédé est bien supérieur à l'emploi du bain d'huile dont la température n'est jamais connue exactement, malgré les variations considérables qu'un changement de température introduit, dans ce cas, dans l'angle apparent des axes optiques.

(¹) *Journal de Physique*, 2ᵉ série, t. V, p. 223.

Enfin, l'appareil que j'ai fait construire peut servir très facilement de goniomètre de Wollaston; le microscope dont il est muni, les mouvements variés de l'axe supportant le cristal en permettent le réglage parfait. Le pointé se fait soit à l'œil comme dans le goniomètre de Wollaston, soit à l'aide de la lunette visant sur l'infini constituée par le microscope à double objectif; l'exactitude est à peu près la même dans les deux cas.

L'appareil a été construit avec beaucoup de soin par M. Ducretet.

SÉANCE DU 2 JUILLET 1886.

PRÉSIDENCE DE M. SEBERT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 18 juin est lu et adopté.

Est élu Membre de la Société :

M. de Groot (le R. P. L.-Th.), à Louvain (Belgique).

M. le Secrétaire général présente, de la part de M. Bandsept, ingénieur à Bruxelles, une Note sur un nouveau brûleur à gaz qu'il appelle *bec tourbillon* et qui donnerait un pouvoir éclairant sensiblement double de celui des becs ordinaires (2 carcels pour 130^{lit}). Pour cela, l'auteur ralentit sans choc ni frottement la vitesse ascensionnelle des gaz chauds, en imprimant à la nappe incandescente un mouvement tournant qui s'arrête à la partie brillante.

M. Albert Nodon présente un nouvel hygromètre dont le principe est analogue à celui du thermomètre métallique de Bréguet. L'organe essentiel consiste en une spirale en papier recouverte extérieurement d'une couche de gélatine rendue inaltérable par l'acide salicylique.

On constate que, lorsque l'air devient humide, la gélatine se dilate et la spirale s'enroule. Quand l'air devient sec, la gélatine se contracte et la spirale se déroule.

Hygromètre à cadran. — En maintenant fixe l'une des extrémités de la spirale, et en adaptant l'autre à une aiguille mobile sur un cadran divisé, on obtient un hygromètre à cadran analogue extérieurement aux baromètres anéroïdes.

Hygromètre enregistreur. — En transformant les mouvements de rotation dus aux enroulements de l'hélice en mouvements de translation trans-

mis à un style mobile sur une feuille de papier se déroulant de $0^m,02$ à l'heure, on obtient une courbe représentative des états hygrométriques de l'air.

Graduation. — On gradue cet hygromètre, en le disposant dans une enceinte dont on détermine les états hygrométriques variables à l'aide d'un hygromètre d'Alluard. On y fait, en outre, varier la température à l'aide d'un bain de sable modérément chauffé.

Résultats. — On trouve :

1° Que les angles dont s'enroule la spirale sont proportionnels aux états hygrométriques;

2° Qu'entre 10° et 35° C., la température ne trouble pas les indications de l'hygromètre;

3° Que la constance de l'appareil est absolue;

4° Qu'en une minute de temps l'hygromètre se met en équilibre hygroscopique avec l'air ambiant;

5° Que sa sensibilité peut être rendue aussi grande qu'on le veut par l'accroissement proportionnel du nombre des spires de l'hélice.

M. Bouty a repris l'étude de la conductibilité électrique des sels en dissolution étendue, qui l'avait déjà occupé il y a deux ans, et dont il avait communiqué, à cette époque, les principaux résultats à la Société de Physique.

1. Ses recherches actuelles ont eu d'abord pour objet la mesure absolue de la conductibilité électrique des dissolutions de chlorure de potassium. Un tube capillaire enroulé en spirale et terminé par de larges entonnoirs a été successivement rempli de mercure pur à 0° et d'une dissolution normale de chlorure de potassium, contenant $74^{gr},59$ de sel par litre et refroidie à 0°. Le rapport des résistances du chlorure de potassium et du mercure s'est trouvé égal à $1,634 . 10^5$, d'où l'on déduit, pour la résistance spécifique C.G.S. en ohms légaux de la dissolution normale de chlorure de potassium, une valeur de $15^{ohms},415$.

Une série de comparaisons des résistances de dissolutions de chlorure de potassium de diverses concentrations effectuées entre 0° et 20° par la méthode électrométrique établit que la conductibilité moléculaire du chlorure de potassium dissous à la température de 0° varie à peine pour des liqueurs contenant de $3^{éq}$ à $0^{éq},5$ de sel par litre. Pour des dilutions plus grandes, la conductibilité moléculaire croît légèrement et paraît tendre vers une valeur supérieure de $\frac{1}{4}$ à celle de la dissolution normale. Le coefficient de variation de la résistance avec la température croît avec la dilution et, à partir de liqueurs contenant moins de $0^{éq},1$ par litre, a une valeur fixe de $\frac{1}{30}$.

2. L'étude de la conductibilité de divers sels normaux, anhydres ou hydratés, montre qu'à partir d'une certaine dilution, parfois assez médiocre,

le coefficient de variation de la résistance avec la température se confond sensiblement avec la valeur limite $\frac{1}{30}$. Pour ces dissolutions moyennement concentrées, la loi d'équivalents, énoncée par M. Bouty, n'est pas encore applicable; mais, si l'on compare les résistances de diverses dissolutions d'un même sel aux résistances de solutions de chlorure de potassium de même concentration atomique M, on reconnaît que le rapport R_0 est de la forme

$$R_0 = 1 + A m^{\frac{1}{3}},$$

c'est-à-dire que l'excès de ce rapport sur l'unité varie proportionnellement à la puissance $\frac{1}{3}$ du poids de sel dissous, ou en raison inverse de la distance moyenne des molécules salines. D'un sel à un autre, le coefficient A varie largement; pour le sulfate de zinc, $A = 2{,}959$, tandis que pour le nitrate de potasse, $A = 0{,}240$; mais à la limite, pour $m = 0$, le rapport R est égal à 1, c'est-à-dire que *la loi d'équivalents est rigoureusement applicable.*

3. On peut attribuer la variation de la conductibilité moléculaire d'un sel avec la dilution, soit à une action propre exercée par les molécules salines sur les molécules de même espèce et qui aurait pour effet de gêner le mouvement électrolytique, soit à une action de l'eau sur la molécule saline, d'où résulte une dissociation progressive. L'étude de la conductibilité des mélanges salins est favorable à cette dernière hypothèse. Si l'on se borne à considérer des sels neutres de même acide ou de même base, sans action chimique connue l'un sur l'autre, et si on compare la conductibilité de ces sels ou de leurs mélanges, sous la condition expresse que la quantité d'eau soit toujours la même pour un même nombre total de molécules salines, on trouve que la conductibilité du mélange est égale à la somme des conductibilités des éléments salins qu'il contient. Le courant se dérive entre les molécules salines d'espèce différente comme entre des fils métalliques parallèles, ce qui semble exclure toute action propre des molécules les unes sur les autres. Mais si l'on vient à changer la quantité d'eau, cette loi ne s'applique plus; il y a donc une action de l'eau sur les molécules salines, dont le terme est de les amener toutes à un état où elles possèdent toutes les mêmes conductibilités.

4. Quand on mêle deux sels d'acide et de base différents, on sait que les quatre sels résultant de l'union de chaque acide à chaque base existent simultanément dans la liqueur; mais l'usage du calorimètre est souvent insuffisant, soit pour constater la double décomposition, soit surtout pour fixer la proportion dans laquelle elle s'exerce. L'électromètre permettra souvent de combler cette lacune; en particulier quand on mêlera un sel alcalin et un sel dit *métallique*. Pour des mélanges à équivalents égaux de sulfate de zinc et de nitrate de potasse d'une part, de nitrate de zinc et de sulfate de potasse, d'autre part, on trouve des conductibilités identiques, intermédiaires à celles que l'on calculerait par la loi des dérivations. Pour le premier

mélange et pour une concentration $m = 0,5$, on devrait trouver $R_0 = 1,754$, et pour le second 1,416; on a trouvé 1,648 et 1,643. Il en résulte que les quatre sels existent à la fois et que la proportion x du deuxième groupe est $x = 0,276$.

M. Le Chatelier fait observer que les sels de zinc sont tous plus ou moins décomposables par l'eau; M. Bouty reconnaît que l'eau exerce sur les sels de zinc une action beaucoup plus marquée que sur les sels alcalins; mais, au point de vue de la conductibilité, cette action de l'eau n'a pas pour effet de compliquer les phénomènes, bien au contraire : les molécules de sulfate de zinc et de chlorure de potassium qui ne sauraient être comparées en dissolution concentrée tendent vers un état limite comparable quand on augmente indéfiniment la quantité du dissolvant, puisqu'elles possèdent à la limite la même conductibilité.

M. Mascart communique à la Société quelques remarques sur la Photométrie.

La comparaison des intensités de deux sources de lumière a été l'objet de nombreux travaux, mais on rencontre souvent dans la pratique un problème de nature un peu différente, celui de l'éclairage lui-même. Dans ce cas, on doit faire intervenir toutes les circonstances extérieures, telles que la diffusion des murs et des plafonds, qui modifie dans de grandes proportions les effets directement produits par les sources.

Il n'est pas impossible d'obtenir un photomètre absolu. Sans avoir recours à la photographie, les propriétés physiologiques de l'œil fournissent déjà des mesures très approximatives. Notre collègue, M. Javal, a constaté, par exemple, que sur une page d'imprimerie éclairée à la distance de 1^m par une bougie, une très bonne vue peut lire le caractère du type 7 à la distance de $0^m,70$, les caractères du type 8 à $0^m,80$, et ainsi de suite. La distance maximum à laquelle un observateur donné peut lire des caractères de type déterminé fournit donc une mesure de l'éclairage. Cette sensibilité photométrique de l'œil augmente même avec l'âge, à mesure que la faculté d'accommodation s'affaiblit. Une question analogue se présente en matière criminelle, dans la distinction du jour et de la nuit. On a dû fixer cette limite par le moment où le soleil se trouve à une certaine distance au-dessous de l'horizon; il paraît même que les Juifs s'en étaient préoccupés et le Talmud renferme un certain nombre de règles, pour définir le commencement du jour, par les couleurs dont on peut saisir la différence, ou les objets de formes semblables que l'on peut distinguer.

La distribution de l'éclairage dans une salle, dans les écoles par exemple, présente un grand intérêt pour l'hygiène de la vue. Entre autres méthodes, M. Javal a proposé d'employer un carton percé d'un certain nombre de trous circulaires entourés de cercles gris plus ou moins foncés. Le carton étant placé dans une position invariable, on vise, à travers des ouvertures, les différentes parties de la salle, et l'on détermine chaque fois celui des cercles dont l'éclat paraît égal à celui du point observé.

Avec un objet éclairé par un verre artificiel dont on ferait varier l'intensité à volonté, on peut comparer deux points d'une même salle ou de deux salles différentes et connaître l'éclairage en valeur absolue. L'appareil employé par M. Mascart, construit sur ses indications par MM. Duboscq et Pellin, se compose d'une lame de verre dépoli éclairée par une lampe à pétrole munie d'une lentille de champ.

Une seconde lentille donne une image de cette lame sur une feuille de papier munie d'une tache d'huile, comme dans le photomètre de Bunsen. Les rayons qui proviennent de la lentille de projection tombent d'abord sur un miroir à 45° qui les réfléchit latéralement. En faisant tourner l'ensemble du miroir et de l'écran, on amène ce dernier dans un plan quelconque sur lequel on veut mesurer la lumière émise par l'éclairage extérieur. Enfin un double volet placé devant la lentille de projection et mobile par une vis permet d'augmenter peu à peu, à partir de zéro, la lumière fournie par la lampe, jusqu'à ce que la tache d'huile, d'abord sombre, cesse d'être aperçue sur l'écran par un observateur qui vise à 45° de la normale. L'appareil se règle par comparaison avec une lampe Carcel.

Cette méthode a été employée, par exemple, pour mesurer l'éclairage produit dans différentes parties de la salle, du foyer et de la scène de l'Opéra. On a constaté qu'avec les lampes à incandescence installées depuis quelque temps, l'éclairage du foyer en un point quelconque équivaut à peu près à celui que fourniraient six lampes Carcel à 1^m de distance. Il paraît d'autant plus nécessaire de fixer ainsi par des mesures absolues l'éclairage obtenu par des sources artificielles que l'on s'habitue de plus en plus aux éclairages intenses, surtout depuis l'emploi de la lumière électrique, et que le simple jugement de l'œil, sans aucun contrôle, peut donner des évaluations très erronées.

M. Gariel rappelle que M. Bertin a autrefois imaginé, pour la mesure de l'éclairement, un photomètre consistant en une tige dont l'ombre est projetée sur un papier blanc. On mesure la distance à laquelle il faut placer une lampe Carcel pour que l'ombre qu'elle produit disparaisse.

M. Gariel a lui-même construit un photomètre analogue à celui de M. Mascart et en a obtenu d'excellents résultats.

Hygromètre; par M. A. Nodon.

La *gélatine* est une substance douée de propriétés hygroscopiques fort curieuses. Chacun sait que, plongée dans l'eau, elle augmente beaucoup de volume; mais ce qu'on a moins remarqué, c'est qu'abandonnée dans l'air elle en absorbe l'humidité en se

dilatant ; de telle sorte que, si l'état hygrométrique de l'air vient à être modifié, la gélatine subit une variation de volume *proportionnelle*. J'ai pu constater, en outre, que le phénomène restait absolument constant pour toutes les températures comprises entre 10° et 35° C.

La gélatine peut, du reste, être rendue complètement inaltérable par l'addition d'une petite quantité d'acide salicylique, sans que pour cela ses remarquables propriétés hygroscopiques soient modifiées.

Voici de quelle façon j'ai pu utiliser cette propriété de la gélatine à la construction d'un nouvel *hygromètre*.

Principe. — Je recouvre d'une couche de gélatine une *hélice* en bristol, dont j'ai garanti la partie interne à l'aide d'un vernis non hygroscopique, tel que le bitume de Judée. J'obtiens ainsi un ensemble déformable sous les variations de l'état hygrométrique de l'atmosphère, analogue quant au fonctionnement à l'hélice du thermomètre métallique de Bréguet. Quand le degré hygrométrique augmente, la gélatine se dilate et la spirale s'enroule sur elle-même. Quand l'air se dessèche, la gélatine se contracte et la spirale se déroule (1).

Hygromètre enregistreur. — Le modèle d'hygromètre enregistreur, que j'ai l'honneur de présenter à la Société, se compose de quatre hélices en papier-gélatine, groupées par paires sur un même socle. L'une des extrêmités de chacune des hélices est maintenue fixe au moyen d'une pince, tandis que l'extrémité libre agit directement sur une poulie légère. Ces quatre spirales constituent un ensemble solidaire dont les actions métalliques s'ajoutent. Sur les deux poulies, disposées suivant une même verticale, s'enroule un fil de soie. A ce fil est attaché un

(1) On obtient du reste des résultats analogues avec d'autres substances hygroscopiques, telles que la gomme adragante, la gomme arabique, la dextrine, etc., qu'on peut déposer en couches minces sur un support quelconque autre que le papier, tel, par exemple, que le celluloïd, l'ébonite, etc. Mais, entre tous ces bilames, j'ai pu constater que celui formé par la gélatine et le papier fournissait les meilleurs résultats. Aussi me suis-je arrêté à ce dernier type, dont la construction est d'ailleurs des plus simples.

petit curseur très léger, mobile entre deux guides. C'est sur ce curseur qu'est disposé le style graveur. Le tout a été équilibré au moyen d'un léger contrepoids sur le brin postérieur du fil.

On possède ainsi un ensemble mobile dans le sens vertical et pouvant obéir aux moindres mouvements d'enroulement ou de déroulement des hélices.

Le style vient s'appuyer contre une bande de papier divisé, se déroulant sur un premier rouleau pour s'enrouler sur un second, entraîné lui-même d'un mouvement lent de rotation de 2^{cm} à l'heure à la circonférence.

La bande de papier s'avance dans une direction normale au mouvement du style et de ces deux mouvements combinés résulte une courbe, tracée à l'encre par le style, et représentative des états hygrométriques de l'air.

En faisant choix d'un papier divisé suffisamment mince, on peut facilement en enrouler une longueur assez grande pour permettre à l'appareil de fonctionner pendant dix jours consécutifs et l'on peut admettre que les longueurs de la bande de papier, déroulées pendant l'espace d'une heure, sont toujours les mêmes.

Le mouvement d'horlogerie actionnant le rouleau est enfermé dans le socle de l'appareil.

La feuille de papier, les rouleaux et le style sont mis à l'abri derrière une glace transparente qu'on peut ouvrir à volonté.

Les quatre hélices baignent librement dans l'atmosphère ambiante et peuvent, du reste, être protégées contre les chocs, la pluie, le soleil, etc., au moyen de toiles métalliques ou d'étuis perforés de trous sur toute leur surface, de façon à permettre à l'air de circuler librement autour des spirales.

Graduation. — Pour graduer cet hydromètre, l'instrument est disposé dans une caisse close, fermée sur sa face antérieure par une glace transparente et mobile. On dispose une cuvette contenant de l'eau et de l'acide sulfurique dans le fond de l'enceinte, et l'on suspend à l'intérieur de cette enceinte un hygromètre d'Alluard et un thermomètre. Lorsque, après quelques heures, l'état hygrométrique est devenu parfaitement uniforme dans l'enceinte, on en détermine le degré hygrométrique exact

avec l'hygromètre d'Alluard. On note la température et on lit le degré correspondant indiqué par l'hygromètre à graduer. On renouvelle la même série d'observations en augmentant progressivement le degré hygrométrique de l'enceinte; à cet effet, on ajoute de temps en temps un peu d'eau à la solution sulfurique. Enfin, on fait une dernière série d'observations à des températures différentes, obtenues au moyen du bain de sable qu'on chauffe modérément.

Cela fait, je construis une courbe en prenant pour abscisses les états hygrométriques de l'enceinte, et pour ordonnées les valeurs correspondantes données par l'hygromètre à graduer. Je constate que c'est une *droite* et que cette droite est invariable pour toutes les températures observées entre 10° et 35° C.

Ce résultat indique que les enroulements des hélices sont proportionnels aux états hygrométriques et indépendants de la température, au moins dans les limites où j'ai observé le phénomène.

Rien n'est plus simple alors que de graduer l'instrument, de façon que chacune des divisions de la graduation corresponde à 1° hygrométrique (0 étant la sécheresse absolue et 106° l'humidité absolue).

Il suffit de déterminer exactement les états hygrométriques correspondant à deux positions quelconques du style et de diviser l'espace compris entre ces deux points en quantités proportionnelles aux états hygrométriques et égales entre elles.

Résultats. — Voici, du reste, les résultats que j'ai pu déduire à la suite de nombreuses observations :

1° Les angles dont s'enroulent les spirales sont proportionnels aux états hygrométriques de l'air.

2° La température entre les limites de 10° à 35° C. est sans influence sensible sur les indications de l'hygromètre.

3° L'instrument paraît rester constant dans ses indications.

4° Il se met en quelques instants en équilibre hygroscopique avec l'atmosphère ambiante.

5° La sensibilité est proportionnelle au nombre des spires de l'hélice et peut être rendue aussi grande qu'on le désire.

L'hélice en papier-gélatine jouit en effet de cette propriété cu-

rieuse de se mettre presque instantanément en équilibre hygroscopique avec l'atmosphère ambiante; de telle façon que, si l'on augmente brusquement l'humidité de l'air en approchant simplement de l'hélice la main légèrement moite, on voit aussitôt le style se déplacer rapidement, s'arrêter à une position fixe et revenir aussitôt à sa station primitive dès que la main a été éloignée.

Hygromètre à cadran. — M. Ducretet a construit, d'après mes indications, un modèle d'hygromètre à cadran, d'un emploi commode et d'une construction très simple. On fixe l'extrémité extérieure d'une spirale plate en papier-gélatine à l'intérieur d'une petite boîte ronde en métal et l'on fixe l'extrémité interne à une aiguille mobile sur un cadran divisé. Par son aspect extérieur, l'instrument rappelle les baromètres anéroïdes.

J'avais déjà eu occasion d'en construire un modèle analogue au mois d'avril 1885. Je l'avais abandonné jusqu'en juin 1886 dans un laboratoire. Je contrôlai à cette époque ses indications avec celles d'un hygromètre d'Alluard, et je pus constater qu'elles étaient restées parfaitement constantes.

La spirale n'avait donc subi, pendant cet espace de temps, aucune altération dans ses propriétés hygroscopiques.

Dans un autre modèle muni d'une hélice à spires très nombreuses, la sensibilité était telle que les variations continuelles de l'état hygrométrique de l'air suffisaient pour maintenir l'aiguille dans un état permanent d'agitation.

William Giovanelli
Ingénieur

Sur la conductibilité électrique des dissolutions salines de concentration moyenne; par M. E. Bouty.

Dans un Mémoire publié il y a deux ans [1], j'ai énoncé une loi nouvelle relativement à la conductibilité des dissolutions salines très étendues. Par son importance philosophique, aussi bien que par les discussions qu'elle a soulevées à l'étranger, cette loi méritait d'être à nouveau l'objet d'une étude approfondie. Une multitude de questions de fait ou de méthode s'y rattachent intimement, et appelaient aussi des recherches complémentaires. Ce travail a pour objet de combler, au moins en partie, ces lacunes.

Dès 1878, M. R. Lenz [2], dans un Mémoire dont je n'avais pas eu connaissance, étudiait la conductibilité électrique des sels alcalins en dissolution très étendue. Il était amené à conclure que l'influence de l'anion s'efface peu à peu à mesure que la dilution augmente, et que celle du cation subsiste seule. Ainsi tous les sels de potasse auraient, en dissolution très étendue, la même conductibilité moléculaire; mais les sels de soude auraient une conductibilité différente.

En 1884, MM. Arrhenius [3] et Ostwald [4] étaient aussi conduits, indépendamment de mes recherches, à étudier la conductibilité des sels ou des acides à un état de dilution extrême. La publication de leurs Mémoires coïncide à peu près avec celle de mes dernières Notes à l'Institut.

M. Vicentini [5], voulant essayer d'étendre aux solutions alcooliques la loi d'équivalents que je venais de proposer et n'y ayant pas réussi, a consacré deux Mémoires à l'étude des dissolutions aqueuses très étendues.

Enfin M. F. Kohlrausch a publié un important Mémoire que j'ai

---

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, 6e série, t. III, p. 433, 1884; *Séances de la Société de Physique*, année 1884, p. 52.

(2) R. Lenz, *Mém. de l'Acad. de Saint-Pétersbourg*, t. XVII; 1878.

(3) Arrhenius, *Bihang Svenska Vet. Akad. Handl.*, t. VIII; 1884.

(4) Ostwald, *Journal für prakt. Chemie*, t. XXX; 1884.

(5) Vicentini, *Atti Venet.* [2], t. II, 1884; *Atti di Torino*, t. XX; 1885.

analysé ailleurs ([1]) et dont la discussion se mêlera intimement à celle de mes nouvelles expériences.

Tous ces travaux ont été réalisés exclusivement par la méthode des courants alternatifs. Il était avant tout indispensable de savoir si les résultats ainsi obtenus sont ou non comparables à ceux que donne la méthode électrométrique que j'ai moi-même employée. Tel a été l'objet d'une étude que nous avons entreprise, M. Foussereau et moi ([2]), et dont la principale conséquence est que cette méthode, parfaitement légitime tant qu'on n'opère qu'avec de faibles résistances et des dissolutions concentrées, peut conduire à des résultats tout à fait inexacts dans le cas où le circuit contient des résistances métalliques considérables; elle devient presque absolument illusoire pour les dissolutions extrêmement étendues.

Mais il ne suffisait pas d'avoir montré le vice de la méthode, il était encore indispensable de discuter en eux-mêmes les résultats des mesures, et les conséquences qu'on est légitimement en droit d'en tirer. Pour comparer de plus près les résultats de M. Kohlrausch aux miens et pour étendre mes recherches aux solutions de concentration moyenne, je devais d'abord faire une étude spéciale de la conductibilité du chlorure de potassium que j'ai toujours adopté pour terme de comparaison.

Je devais, en second lieu, rechercher si la loi d'équivalents que j'ai énoncée est seulement une loi approchée (comme, par exemple, la loi de Dulong et Petit relative aux capacités calorifiques des corps solides), ou si elle doit être considérée comme une loi limite rigoureuse (analogue à la loi de Mariotte pour la compressibilité des gaz).

Enfin la nécessité de discuter les résultats d'expériences relatives à des dilutions excessives, où les impuretés de l'eau distillée ont pu jouer un rôle prépondérant, m'a conduit à l'étude de la conductibilité des mélanges salins en général. Ce Mémoire se divisera donc en trois Parties, relatives au chlorure de potassium, à la loi d'équivalents et aux mélanges.

([1]) F. Kohlrausch, *Ann. der Physik und Chemie*, t. XXVI, p. 161, 1885; *Journal de Physique*, 2e série, t. V, p. 427.

([2]) *Séances de la Société de Physique*, année 1885, p. 97.

CHAPITRE I.

SUR LA CONDUCTIBILITÉ DU CHLORURE DE POTASSIUM DISSOUS.

La méthode électromagnétique, comme la plupart des méthodes de mesure, comporte une erreur relative d'autant moindre que les quantités à comparer ont un rapport plus voisin de l'unité. C'est pourquoi, dans mes recherches de 1884, j'ai toujours comparé la conductibilité des dissolutions salines à la conductibilité des dissolutions du chlorure de potassium contenant le même poids de sel dissous, afin de n'avoir jamais affaire qu'à des résistances du même ordre de grandeur. Ces recherches m'ayant conduit à reconnaître que la conductibilité moléculaire de tous les sels normaux est la même en dissolution très étendue, il y avait intérêt à ne comparer désormais entre elles que des dissolutions de même concentration moléculaire; c'est pourquoi, renonçant dans mon travail actuel aux liqueurs d'une concentration en poids égale, j'ai eu recours à des dissolutions contenant un nombre exact *n* d'équivalents de sel en grammes par litre de la dissolution.

J'ai d'abord déterminé en valeur absolue la résistance spécifique d'une dissolution normale de chlorure de potassium, contenant $74^{gr},59$ de sel ($1^{éq}$, $m = 1$) par litre. Ensuite, et par une double série de mesures relatives, j'ai comparé cette résistance à celles d'autres dissolutions contenant de $3^{éq}$ à $0^{éq},001$ de sel par litre, et à des températures comprises entre 0° et 30°.

Mesure absolue. — Un tube capillaire enroulé en spirale et terminé par deux larges entonnoirs est successivement rempli de mercure pur à zéro et de la dissolution normale de chlorure de potassium. On mesure la résistance du mercure par la méthode du pont de Wheatstone, à l'aide d'un galvanomètre de Thomson à double bobine d'une extrême sensibilité et d'une boîte à pont de M. Carpentier dans laquelle on introduit entre les branches fixes un rapport égal à 100. De très gros fils de cuivre plongent dans les entonnoirs, et les communications sont attachées de telle sorte que la résistance du mercure forme *seule* la quatrième branche du pont; sa valeur à 0° est voisine de $1^{ohm},2$. On mesure ensuite la résistance du chlorure de potassium, par la

méthode électrométrique, à une série de températures comprises entre 0° et 30°, et en prenant comme terme de comparaison des résistances métalliques étalonnées en ohms légaux. Les résistances liquides ainsi mesurées sont comprises entre 200000^{ohms} et 100000^{ohms}. De l'ensemble des mesures on déduit : 1° le rapport R_0 des résistances de deux colonnes égales de la dissolution normale de chlorure de potassium et de mercure à 0° ; 2° le coefficient moyen de variation de la résistance de la dissolution normale avec la température. Posant

$$R_t = \frac{R_0}{1 + \alpha t},$$

on trouve ainsi $\alpha = 0{,}0291$ et $R_0 = 1{,}634 . 10^5$. Il en résulte que la résistance spécifique C.G.S. de la dissolution normale, évaluée en ohms légaux, est de

$$15^{ohms},415.$$

Eu égard à l'extrême inégalité des grandeurs à comparer, cette valeur peut être erronée de $\frac{1}{100}$ au plus, par excès ou par défaut.

Mesures relatives. Étude de la méthode de Paalzow. — Les mesures relatives ont toutes été exécutées par la méthode électrométrique. Mais auparavant j'ai voulu me rendre compte du degré d'exactitude dont les autres méthodes sont susceptibles ; je n'avais pas à revenir sur la méthode des courants alternatifs : il restait la méthode de Paalzow, consistant à éliminer la polarisation des électrodes par l'emploi d'électrodes de zinc plongeant dans une solution concentrée de sulfate de zinc.

Pour étudier cette méthode, j'ai intercalé la résistance à mesurer entre deux vases poreux pleins du même liquide et placés dans de grands bocaux contenant du sulfate de zinc. Ceux-ci communiquaient par des siphons avec d'autres vases contenant les électrodes de zinc amalgamé, plongés aussi dans le sulfate de zinc. Une première mesure à l'aide d'un pont de Wheatstone à branches inégales donnait la résistance totale du système ainsi formé ; on excluait la résistance liquide capillaire en réunissant les vases poreux par un très gros siphon, le plus court possible, et l'on procédait à une seconde mesure. La résistance capillaire s'obtenait par différence.

J'ai pu me convaincre, par des mesures comparatives effectuées par cette méthode et par la méthode électrométrique, que la polarisation est complètement éliminée quand on s'astreint à conserver à la branche du circuit contenant l'électrolyte une résistance minimum d'une dizaine de mille ohms. La méthode de Paalzow offre alors, par rapport à la méthode électrométrique, l'avantage d'une plus grande rapidité dans les mesures; mais on est vite arrêté par le défaut de sensibilité des galvanomètres. Quand la résistance principale atteint un mégohm, il me paraît impossible de répondre des résultats à $\frac{1}{10}$ près, tandis que les mesures électrométriques comportent au plus une erreur de $\frac{1}{200}$ pour des résistances 10 ou 100 fois plus fortes.

Pour les mesures définitives, j'ai donc eu recours exclusivement à la méthode électrométrique. La principale difficulté consiste dans l'évaluation exacte des températures, une variation de 0°,1 entraînant en général une variation de la résistance de 0,003, la plus légère erreur thermométrique altère notablement les résultats. Il est donc indispensable de maintenir les tubes capillaires contenant les résistances liquides dans des bains d'assez grand volume pour que la variation de température : pendant la durée d'une mesure, puisse être négligée, et d'employer des thermomètres donnant le dixième de degré.

Résultats. — Entre 0° et 30° la résistance des dissolutions de chlorure de potassium s'exprime, avec une exactitude suffisante. par la formule

$$R_t = \frac{R_0}{1 + \alpha t}. \tag{1}$$

Le Tableau suivant donne les valeurs absolues de la résistance spécifique R_0 et les valeurs relatives de la résistance moléculaire P_0 rapportée à celle de la dissolution normale, ainsi que les valeurs de α :

Nombre m d'équivalents.	R_0.	P_0.	α.
3,0	5,172	1,007	0,0230
2,0	7,785	1,010	0,0259
1,0	15,415	1,000	0,0291
0,5	30,49	0,989	0,0302
0,2	72,23	0,937	0,0326
0,1	141,0	0,915	0,0327
0,01	1325,0	0,860	0,0333
0,001	12697,0	0,824	0,0333

On remarquera que, entre $3^{éq}$ et $0^{éq}, 5$, la conductibilité moléculaire à 0°, P_0 varie à peine du $\frac{1}{100}$ de sa valeur, tandis que α croît rapidement. Au contraire, dans les dissolutions étendues, α demeure très sensiblement constant et la conductibilité moléculaire décroît d'une manière assez marquée. Pour des valeurs de $m < 0,5$ on a très sensiblement

$$P_0 = 0,8\left(1 + 0,2976\, m^{\frac{1}{3}}\right), \tag{2}$$

m.	P_0 observé.	P_0 calculé.	Différence.
0,5	0,989	0,989	0,000
0,2	0,937	0,939	+0,002
0,1	0,915	0,910	−0,005
0,01	0,860	0,851	−0,009
0,001	0,824	0,824	0,000

et, par conséquent, on peut admettre que la limite vers laquelle tend P_0 est égale à 0,8; c'est-à-dire que la résistance moléculaire du chlorure de potassium indéfiniment dilué est réduite aux $\frac{4}{5}$ de celle de la liqueur normale.

Si l'on veut calculer la résistance spécifique d'une dissolution quelconque de chlorure de potassium, il faut encore connaître la loi de variation de α. On peut admettre, pour toutes les dilutions étudiées, la formule

$$\alpha = 0,00333\left(1 - 0,452\, m^{\frac{3}{4}}\right). \tag{3}$$

m.	α observé.	α calculé.	Différence.
3,0	0,0230	0,0230	0,0000
2,0	0,0259	0,0257	—0,0002
1,0	0,0291	0,0288	—0,0003
0,5	0,0302	0,0306	+0,0004
0,2	0,0326	0,0319	—0,0007
0,1	0,0327	0,0325	—0,0002
0,01	0,0333	0,0332	—0,0001
0,001	0,0333	0,0333	0,0000

Pour les valeurs de $m > 1$, on pourra admettre que P_0 est égal à 1, et calculer α par la formule (3); pour les valeurs de $m < 1$ on appliquera les formules (2) et (3). Les résistances ainsi calculées seront exactes à environ 0,01 près de leur valeur.

Dans son dernier Mémoire, M. F. Kohlrausch donne les conductibilités d'un certain nombre de dissolutions de chlorure de potassium à 18° rapportées à la conductibilité du mercure à 0° prise pour unité. Il trouve ainsi que la dissolution normale de chlorure de potassium possède une conductibilité moléculaire égale à $9,19.10^{-6}$. Mes expériences donnent $9,32.10^{-6}$; le nombre de M. Kohlrausch est plus faible d'environ $\frac{1}{70}$, ce qui n'a rien de surprenant, puisque les deux mesures fondamentales, faites à des températures différentes, ne sont pas directement comparables.

Le Tableau suivant donne le rapport à 18° des résistances des diverses solutions de chlorure de potassium à la dissolution normale, calculées : 1° d'après les formules (2) et (3); 2° d'après M. Kohlrausch.

m.	Bouty.	Kohlrausch.	Différence.
3,0...........	1,0814	1,1112	+0,0298
1,0...........	1,0000	1,0000	0,0000
0,5...........	0,9684	0,9593	—0,0091
0,1...........	0,8718	0,8777	+0,0059
0,01..........	0,8088	0,8012	—0,0076
0,001.........	0,7823	0,7704	—0,0119
∞	0,7587	0,7558	—0,0029

Sauf pour $m = 3$, l'accord des deux séries a lieu en général à moins de $\frac{1}{100}$ près, c'est-à-dire que la différence peut être attribuée entièrement aux erreurs thermométriques. La méthode des cou-

rants alternatifs a donc conduit, dans ce cas, M. Kohlrausch à des résultats très sensiblement exacts.

CHAPITRE II.

LOI DE LA CONDUCTIBILITÉ ÉLECTRIQUE DES SOLUTIONS SALINES DE CONCENTRATION MOYENNE.

Nous savons qu'entre 0° et 20° la résistance d'une solution saline étendue est exactement représentée par la formule binôme

$$r_t = \frac{r_0}{1 + \alpha t}. \tag{4}$$

Le coefficient α, à partir d'une certaine dilution, souvent assez médiocre, ne diffère pas sensiblement de la valeur limite 0,0333 qui convient aux liqueurs les plus étendues.

Je suppose cette condition réalisée par un certain sel, le sulfate de zinc par exemple, et je mesure le rapport $K_0 = \frac{r_0}{R_0}$ de sa résistance moléculaire à 0° à celle du chlorure de potassium à 0° et de même concentration atomique, c'est-à-dire contenant le même nombre m d'équivalents de sel par litre de la dissolution. L'avantage de cette comparaison est de pouvoir s'effectuer directement et avec une faible erreur relative, puisque les deux résistances à comparer sont du même ordre de grandeur. Le rapport K_0, en général plus grand que 1, tend vers la limite 1, à mesure que m tend vers zéro. C'est la loi d'équivalents que j'ai énoncée antérieurement (¹).

Posons

$$K_0 = 1 + f(m), \tag{5}$$

et proposons-nous de déterminer la fonction $f(m)$. Les mesures relatives à un sel particulier, par exemple le sulfate de zinc, mon-

---

(¹) *Annales de Chimie et de Physique*, 6ᵉ série, t. III, p. 444; *Séances de la Société de Physique*, année 1884, p. 58.

trent que, si l'on fait varier m suivant les termes d'une progression géométrique, $f(m)$ varie suivant une autre progression géométrique. On a donc

$$f(m) = A m^c.$$

En essayant de déterminer A et c pour divers sels neutres normaux, on reconnaît bien vite que, tandis que A varie largement d'un sel à un autre, on peut considérer c comme très sensiblement constant et égal à $\frac{1}{3}$. Les Tableaux suivants, relatifs à des sels pour lesquels K_0 varie dans des limites très larges, montreront la concordance du calcul ainsi effectué et de l'observation.

Sulfate de zinc A = 2,959.

m.	K_0 observé.	K_0 calculé.	Différence.
0,5	3,335	3,348	+0,013
0,2	2,850	2,732	—0,118
0,1	2,420	2,375	—0,045
0,05	2,159	2,091	—0,068
0,02	1,815	1,805	—0,010
0,01	1,639	1,639	0,000
0,005	1,485	1,507	+0,022
0,002	1,283	1,374	+0,091
0,001	1,269	1,297	+0,030
0,00025	1,158	1,187	+0,029

Pour le sulfate de zinc, α ne diffère déjà plus d'une manière sensible de la limite 0,0333, à partir de $m = 0,5$.

Nitrate de plomb A = 1,116.

m.	K_0 observé.	K_0 calculé.	Différence.	α.
0,5	1,886	1,886	0,000	0,0389
0,25	1,755	1,703	—0,052	»
0,125	1,559	1,558	—0,001	0,0372
0,1	1,525	1,518	—0,007	»
0,05	1,424	1,411	—0,013	»
0,02	1,266	1,303	+0,037	0,0353
0,01	1,141	1,240	+0,099	0,0342
0,005	1,185	1,191	+0,006	»
0,002	1,096	1,141	+0,045	»
0,001	1,096	1,112	+0,016	»
0,00025	1,049	1,069	+0,020	»

Pour le nitrate de plomb, ce n'est qu'au-dessous de $m = 0,01$ qu'on peut admettre que α prend sensiblement sa valeur limite 0,0333.

Il ressort clairement des deux Tableaux précédents :

1° Que la limite du rapport K_0 ne peut différer de l'unité d'une quantité appréciable : pour les sels étudiés *la loi d'équivalents est donc une loi limite rigoureusement exacte ;*

2° Que, pour les mêmes sels et des valeurs de $m < 0,5$, on a

$$K_0 = 1 + A m^{\frac{1}{3}}. \tag{6}$$

J'ai trouvé pour A les valeurs suivantes :

Sels.	A.
Sulfate de zinc........................	2,959
Nitrate de plomb......................	1,116
Sulfate de potasse....................	0,359
Nitrate de potasse....................	0,240

On remarquera que la distance moyenne l de deux molécules salines est en raison inverse de la racine cubique du nombre des molécules et par conséquent en raison inverse de $m^{\frac{1}{3}}$. On peut donc écrire la formule (6)

$$K_0 = 1 + \frac{A'}{l}. \tag{6 bis}$$

L'écart d'un même sel, par rapport à la loi des équivalents, varie en raison inverse de la distance moyenne de ses molécules.

Nous avons désigné par P_0 la résistance moléculaire du chlorure de potassium. Soit ρ_0 celle d'un sel normal ; on a par définition

$$(7)\quad \begin{cases} \rho_0 = K_0 P_0 = 0,8\left(1 + 0,2976\, m^{\frac{1}{3}}\right)\left(1 + A m^{\frac{1}{3}}\right) \\ \qquad = 0,8\left[1 + (A + 0,2976)\, m^{\frac{1}{3}} + 0,2976\, A m^{\frac{2}{3}}\right], \end{cases}$$

en prenant pour unité la résistance de la dissolution normale de chlorure de potassium.

Il est vraisemblable, d'après la forme de la relation (7), que la résistance spécifique d'une dissolution saline à 0° peut être déve-

loppée en série suivant les puissances de $m^{\frac{1}{3}}$. On aurait donc

(8) $$\rho_0 = 0,8 + bm^{\frac{1}{3}} + cm^{\frac{2}{3}} + \ldots,$$

(8 *bis*) $$\rho_0 = 0,8 + \frac{b'}{l} + \frac{c'}{l^2} + \ldots$$

Mon but ayant été surtout d'établir l'exactitude de la loi d'équivalents comme loi limite, je ne possède jusqu'ici qu'un trop petit nombre de mesures sur les dissolutions concentrées pour essayer de calculer les coefficients de la formule (8) avec trois ou quatre termes. Mais il est évident qu'on peut la réduire à un nombre de termes d'autant plus petit que l est plus grand, c'est-à-dire m plus petit. Pour le chlorure de potassium et $m < 0,5$ deux termes suffisent; il en faut un plus grand nombre pour d'autres sels, mais on peut toujours pratiquement atteindre une dilution pour laquelle deux termes sont suffisants. On est conduit à l'énoncé suivant :

L'excès de la résistance moléculaire d'un sel dilué sur sa valeur limite est à peu près en raison inverse de la distance moyenne de ses molécules.

Cette dernière observation a été publiée, pour la première fois, par M. F. Kohlrausch [1], dans son Mémoire sur les dissolutions très étendues.

Les nombres fournis par M. Kohlrausch pour le sulfate de zinc se prêtent à une comparaison avec les miens. En ramenant ses observations à 0° au moyen des coefficients α déduits de mes propres expériences, on obtient la valeur de K_0. Le Tableau suivant présente ces valeurs en regard des valeurs calculées par la formule (6) :

	K_0.		
m.	Kohlrausch.	Bouty.	Différence.
0,1	2,230	2,375	—0,145
0,05	2,043	2,091	—0,048
0,01	1,605	1,639	—0,034
0,02	1,345	1,374	—0,029
0,001........	1,265	1,297	—0,032

L'accord, assez défectueux pour les plus grandes concentrations,

(1) KOHLRAUSCH, *Wied. Ann.*, t. XXVI, p. 201.

ce qui peut tenir en partie à la différence des températures auxquelles ont été réalisées les mesures de M. Kohlrausch et les miennes, se rétablit pour les grandes dilutions. Mais M. Kohlrausch, ayant poussé ses expériences jusqu'à $m = 0,00001$, trouve pour les valeurs de K_{18} (égal à K_0 pour ces dilutions extrêmes) $K_{18} = 1,147$ au lieu de 1,064 que donnerait la formule (6). Or non seulement mes nombres, mais encore ceux de M. Kohlrausch, considérés pour des valeurs de $m > 0,001$, convergent vers la limite 1. Ce n'est que pour des dilutions beaucoup plus grandes, et que je n'ai jamais employées moi-même, que le désaccord apparaît. Le même désaccord se manifeste, dans les mêmes conditions, pour divers autres sels.

Il est impossible de ne pas attribuer ce désaccord à des phénomènes secondaires. On peut invoquer :

1° L'insuffisance probable de la méthode des courants alternatifs;

2° L'incertitude de la correction relative à l'eau distillée, quand celle-ci possède une conductibilité appréciable par rapport à celle du sel dissous;

3° Les réactions exercées sur le sel dissous par les impuretés apportées par l'eau distillée. Ces matières existent dans les dissolutions extrêmement étendues en proportion relative d'autant plus considérable que la dilution est plus grande.

C'est précisément pour être à l'abri des deux dernières causes d'erreur que j'avais volontairement exclu de mon premier travail les dissolutions contenant moins de $0^{gr},25$ de sel par litre et que je ne suis pas descendu dans celui-ci à des valeurs de $m < 0,001$ ou au plus 0,00025. J'ajouterai que c'est principalement en vue d'apprécier l'importance de ces causes d'erreur que j'ai entrepris l'étude qui forme la dernière Partie de ce travail.

CHAPITRE III.

SUR LA CONDUCTIBILITÉ ÉLECTRIQUE DES MÉLANGES DE SELS NEUTRES.

On ne sait que fort peu de chose sur la conductibilité des mélanges de sels neutres. Aucune règle générale n'a encore permis de la déduire exactement de la conductibilité, supposée connue, des dissolutions salines simples.

Il y avait lieu d'examiner si la difficulté du problème tenait à la nature même de la conductibilité électrolytique ou si elle n'était pas plutôt liée à la variabilité des équilibres chimiques possibles au sein des dissolutions. Après bien des tâtonnements, c'est à cette dernière hypothèse que je me suis arrêté. Je me suis rencontré dans cette voie avec M. Foussereau [1], que des recherches, poursuivies dans un but différent, amenaient sur le même terrain.

Est-il permis d'assimiler un mélange salin à un conducteur métallique hétérogène, c'est-à-dire de calculer la résistance spécifique R du mélange par la formule

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R'} + \frac{1}{R''} + \frac{1}{R'''} + \dots, \tag{9}$$

exprimant que les conductibilités s'ajoutent? Si cette assimilation est légitime en principe, à quelles restrictions est-elle pratiquement soumise?

La formule (9) qui, pour les diverses parties d'une même dissolution simple, n'exprime qu'une identité, n'est déjà plus applicable quand on fait varier la dilution : elle conduirait à admettre que la conductibilité moléculaire est constante, et l'on sait que, pour tous les sels, cette conductibilité croît à mesure qu'on augmente la quantité d'eau. Je n'ai donc comparé entre elles que des dissolutions contenant, sous le même volume de 1^{lit}, le même nombre total de molécules salines; cette condition exclut déjà les dissolutions très concentrées, dont la formation est accompagnée de variations de volume différentes d'un sel à un autre pour une quantité d'eau déterminée et un même nombre donné de molé-

---

[1] FOUSSEREAU, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CIII, p. 248.

cules salines. Je me suis ensuite adressé à des sels de même acide ou de même base, sans action chimique connue, et j'ai trouvé qu'effectivement la conductibilité du mélange ne diffère pas sensiblement de la somme des conductibilités de ses éléments.

Dans les Tableaux suivants, *m* désigne le nombre *total* d'équivalents en grammes par litre de la dissolution; K_0 le rapport de la résistance moléculaire à 0° du sel ou du mélange de sels à la résistance moléculaire du chlorure de potassium de même concentration atomique :

Nature du mélange salin ($m = 0,1$).	K_0 observé.	K_0 calculé.	Différence.
PbO, AzO^5	1,462	admis	
KO, AzO^5	1,133	admis	
$\frac{1}{2}(PbO, AzO^5 + KO, AzO^5)$	1,269	1,276	+0,007
$\frac{1}{4}(3PbO, AzO^5 + KO, AzO^5)$	1,367	1,363	−0,004
$\frac{1}{3}(PbO, AzO^5 + 2KO, AzO^5)$	1,229	1,225	−0,004
$\frac{1}{5}(PbO, AzO^5 + 4KO, AzO^5)$	1,193	1,187	−0,006

Les mélanges ternaires de chlorure de potassium, d'azotate et de sulfate de potasse et les divers mélanges binaires de ces trois sels, les mélanges de sulfate de cuivre et de sulfate de zinc se comportent de la même manière.

Si l'on adopte d'une manière générale le mode de calcul que nous avons suivi et que l'on s'adresse à des sels susceptibles de réagir entre eux, la mesure de la conductibilité préviendra de l'altération subie. Voici les principaux cas que j'ai examinés :

1. Le sulfate de zinc et le sulfate de potasse donnent naissance au sel

$$KO, SO^3 + ZnO, SO^3 + 6HO,$$

susceptible de cristalliser, mais qui n'existe pas en dissolution très étendue. Quand une molécule de sel double remplacera, dans une liqueur, deux molécules de sel simple, la résistance se trouvera augmentée. Les Tableaux suivants montrent que la quantité de sel double est toujours très faible, mais qu'il en existe encore quelques traces dans des liqueurs déjà étendues ($m = 0,1$).

m.	K_0 observé.	K_0 calculé.	Différence.
	$\frac{1}{2}(KO, SO^3 + ZnO, SO^3)$.		
1,0	2,197	2,046	—0,151
0,5	1,958	1,855	—0,103
0,2	1,741	1,698	—0,043
0,1	1,601	1,573	—0,028
0,05	1,473	1,483	+0,010
0,02	1,363	1,367	+0,004
0,01	1,305	1,299	—0,006
	$\frac{1}{3}(KO, SO^3 + 2ZnO, SO^3)$.		
1,0	2,642	2,461	—0,182
0,5	2,356	2,177	—0,179
0,2	1,989	1,963	—0,026
0,1	1,819	1,781	—0,038
0,05	1,678	1,657	—0,021
0,02	1,510	1,490	—0,020
0,01	1,399	1,397	—0,002
0,005	1,309	1,311	+0,002
0,002	1,219	1,214	—0,005

2. Un cas de statique chimique plus intéressant est celui du mélange de deux sels d'acide et de base différents. On sait que les quatre sels formés par l'union de chaque acide et de chaque base coexistent dans la liqueur; mais, dans bien des cas, le mélange des dissolutions n'est accompagné d'aucun phénomène calorifique appréciable et ce n'est qu'exceptionnellement qu'on sait calculer la proportion dans laquelle se fait le partage. L'électromètre permettra de combler cette lacune, particulièrement dans le cas du mélange d'un sel alcalin et d'un sel de l'un des métaux communs, zinc, cuivre, fer, etc.

Je citerai, comme exemple, le mélange à équivalents égaux de sulfate de zinc et de nitrate de potasse.

Pour $m = 0,5$ et pour les quatre sels possibles, l'expérience fournit les valeurs suivantes de K_0 :

Sel.	K_0.
ZnO, SO^3	3,335
ZnO, AzO^5	1,579
KO, SO^3............	1,285
KO, AzO^5..........	1,190

d'où l'on déduit, pour les mélanges à équivalents égaux des deux groupes de sels différents,

Sel.	K_0.
$\frac{1}{2}$(ZnO, SO^3 + KO, AzO^5).........	1,754
$\frac{1}{2}$(KO, SO^3 + ZnO, AzO^5).........	1,416

valeurs assez écartées l'une de l'autre pour pouvoir donner prise à un calcul de proportion.

L'expérience directe, effectuée sur les liqueurs résultant de ces deux mélanges, a fourni les valeurs de K_0, 1,643 et 1,648, intermédiaires aux précédentes et identiques entre elles aux quantités près de l'ordre des erreurs d'expérience. Les quatre sels existent donc dans chacun des mélanges binaires, et ils s'y trouvent dans une proportion indépendante de la manière dont les acides et les bases étaient primitivement associés.

Soit x la proportion du groupe KO, SO^3 + ZnO, AzO^5; x est déterminé par la formule

$$\frac{x}{1,416} + \frac{1-x}{1,754} = \frac{1}{1,6445}, \tag{10}$$

d'où

$$x = 0,276.$$

Les mêmes expériences, réalisées pour une dilution plus grande ($m = 0,1$), ont donné $x = 0,263$.

Un excès de nitrate de potasse ou de nitrate de zinc ne modifie pas sensiblement la valeur de x; par exemple, le mélange

$$2KO, AzO^5 + ZnO, SO^3$$

($m = 0,5$) donne $x = 0,283$.

Au contraire, un excès de sulfate diminue la valeur de x, sans doute par suite de la formation de sulfate double. Avec

$$2ZnO, SO^3 + KO, AzO^5$$

($m = 0,5$), on a trouvé

$$x = 0,220;$$

mais ce nombre n'a plus de signification précise, puisque le mélange est plus complexe que ne le suppose la formule employée.

Le calcul devient encore illusoire dans deux cas.

1° Pour les dilutions extrêmes, car, tous les coefficients de la formule (10) ayant pour limite l'unité quand m tend vers 0, cette formule se réduit, à la limite, à une identité et x est indéterminé.

2° Pour les sels caractérisés par des valeurs de K_0, telles que le calcul donne pour les deux mélanges binaires simples des valeurs de K_0 très voisines. Les coefficients de la formule (10) sont alors sensiblement égaux entre eux et x est indéterminé.

Soient K, K', K_1, K'_1 les valeurs de K_0 pour chacun des sels simples. On a, dans ce second cas,

$$\frac{1}{K} + \frac{1}{K'} = \frac{1}{K_1} + \frac{1}{K'_1}. \tag{11}$$

On peut satisfaire à cette équation en posant

$$\begin{cases} K = a + b, \\ K' = a' + b', \\ K_1 = a + b', \\ K'_1 = a' + b; \end{cases} \tag{12}$$

a et a', b et b' peuvent alors être considérés comme des coefficients caractéristiques des deux acides et des deux bases et les mesures faites sur les quatre sels séparés permettent de déterminer ces coefficients. D'après M. Kohlrausch, la relation (11) serait à peu près vérifiée pour la plupart des dissolutions étendues. S'il en est ainsi, le calcul ne fournira de bons résultats que pour des liqueurs assez concentrées, telles que nous les avons employées ci-dessus.

Action propre de l'eau distillée. — Nous sommes maintenant en mesure d'examiner si l'on est en droit d'appliquer la formule (9) au calcul de la résistance propre R' d'un sel dissous, en quantité très minime, dans une eau distillée de résistance E connue. Soit R la résistance de la dissolution : on aurait alors

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{E} + \frac{1}{R'}. \tag{13}$$

Pour se prononcer, il faut d'abord savoir ce qu'on peut entendre par *résistance propre d'un sel dissous.* Les sels solides sont isolants et la résistance moléculaire des sels dissous varie avec la di-

lution; on ne peut donc envisager la résistance du sel dissous indépendamment de l'eau de dissolution; *on ne peut se livrer à aucun calcul rationnel faisant intervenir la conductibilité propre de l'eau.*

Mais les variations énormes de la conductibilité de l'eau distillée, suivant qu'elle a ou non séjourné à l'air d'un laboratoire, dans des vases de verre ou de porcelaine, etc. ([1]), prouvent que la majeure part, sinon la totalité, de cette conductibilité électrique doit être attribuée aux matières étrangères, acides ou sels, que l'eau distillée contient en dissolution. Quand on dissout un nouveau sel dans cette eau, il faut examiner si la relation

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R''} + \frac{1}{R'} \qquad (14)$$

est ou non applicable; R'' mis à la place de E représente ici *la résistance de la dissolution nommée eau distillée* et nous rentrons dans l'étude à laquelle est consacré ce Chapitre.

1° Tant que m est supérieur à 0,001 par exemple, la résistance R'' de l'eau distillée est si grande par rapport à R qu'il est parfaitement légitime de confondre R et R'. C'est le cas de toutes mes expériences.

2° m est beaucoup plus petit que 0,001; à mesure que la dilution augmente, la proportion relative du sel R'' apporté par l'eau distillée augmente; elle finit par atteindre et dépasser celle du sel étudié R'. Alors le calcul cesse d'être applicable rigoureusement.

Supposons, pour simplifier, que les deux sels sont identiques. Par exemple, l'eau distillée apporte avec elle du sulfate de zinc à la dose de $m = 0,00001$ et l'on y ajoute une quantité égale de sulfate de zinc. On a alors, par l'application de la formule (6), $R' = R'' = 1,064$ en prenant pour unité la résistance de la dissolution *pure* de chlorure de potassium de même concentration. Or l'expérience donnera sensiblement $R = 0,5405$ ([2]). Prenant pour

([1]) Foussereau, *Annales de Chimie et de Physique*, 6e série, t. V, p. 338; *Séances de la Société de Physique*, année 1884, p. 231.

([2]) Calculé par la formule (6) en négligeant la très légère variation de conductibilité moléculaire de KCl.

inconnue R′ dans la formule (14) dans laquelle on suppose R″ et R connus, on trouve

$$R' = 1,0985,$$

au lieu de 1,064. On attribuerait ainsi au sel dissous une résistance moléculaire d'autant plus forte que l'eau distillée contiendrait déjà une plus forte proportion du même sel. Cet effet ne deviendra insensible que pour les sels tels que le chlorure de potassium ou les sels de potasse dont la conductibilité moléculaire varie peu avec la dilution,

Si les deux sels R″ et R′ diffèrent, on ne peut plus rien dire de général. S'ils sont sans action chimique l'un sur l'autre, les choses se passeront à peu près comme pour un sel unique : la présence de sulfate de cuivre dans l'eau distillée accroîtrait donc la résistance calculée R′ du sulfate de zinc et inversement. S'il y a double décomposition, on trouvera, suivant les cas, des valeurs de R′ trop fortes ou trop faibles, et il est évident que les erreurs commises pourront devenir considérables. En particulier, si l'eau renferme un acide ou une base libre, les mesures relatives à un sel basique ou à un sel acide perdront toute espèce de signification.

On voit donc que l'exclusion des dilutions extrêmes s'impose. *Les arguments à l'encontre de la loi limite des équivalents tirés d'expériences où l'on fait usage de ces dilutions sont de nulle valeur.*

Recherches sur les densités des gaz liquéfiés et de leurs vapeurs saturées; par M. L. Cailletet et E. Mathias.

(Séance du 4 juin 1886).

Historique. — Plusieurs physiciens, et, en particulier, Faraday, Thilorier, Bussy et Andréeff ont étudié les densités des gaz liquéfiés.

Les difficultés qu'on éprouve à manier ces liquides sous des pressions aussi élevées n'ont guère permis à ces auteurs d'obtenir des données un peu précises. Deux méthodes ont surtout été em-

ployées par les premiers expérimentateurs : celle des flotteurs de verre (1) et celle dans laquelle on compare les volumes du gaz et du liquide qui lui a donné naissance. La méthode des boules de verre, qui a été surtout employée par Faraday en 1823, n'est qu'approximative et donne des résultats trop grands à cause de la compression des boules.

L'autre méthode a été reprise récemment par M. Wroblewski (2) et appliquée à l'oxygène et à l'azote liquides.

Une méthode tout à fait inverse et dans laquelle on mesure le volume qu'occupe à l'état liquéfié un poids connu de gaz a été proposée par M. Ansdell (3); cette méthode, rendue très pratique par l'emploi de la pompe inventée par l'un de nous, a été appliquée par son auteur à l'acide chlorhydrique et à l'acétylène liquides et a été reprise depuis par M. Bleekrode dans ses recherches sur la réfraction des gaz à l'état liquide (4).

Une méthode susceptible de précision est celle qui a été employée par Andréeff (5) et qui consiste à étudier la dilatation du gaz liquéfié dans un vase thermométrique; mais elle exige la connaissance préalable de la densité de la vapeur saturée qu'on ne peut calculer d'après les lois de Mariotte et de Gay-Lussac, comme le faisait Andréeff, ce qui donne des résultats trop grands, absolument inacceptables pour les gaz ayant une tension de vapeur considérable.

D'autre part, la densité de la vapeur d'eau saturée a été étudiée par MM. Fairbairn et Tate (6) entre $+ 58°$ et $+ 144°$.

Malheureusement, la méthode extrêmement originale de ces physiciens ne semble guère applicable au cas de très fortes pressions.

Depuis, le volume spécifique de la vapeur saturée du gaz chlorhydrique a été mesurée à différentes températures par M. Ansdell (7) par une méthode qui a beaucoup d'analogie avec celle que nous avons employée.

---

(1) Faraday, *Ann. de Chim.*, t. XXIV, 1823, dit qu'il est redevable de la méthode des boules à M. Davis Guilbert.

(2) Wroblewski, *Comptes rendus*, t. CII, p. 1010; 1886.

(3) Ansdell, *Proc. Roy. Soc.*, t. XXX, p. 117, et t. XXIX, p. 209; 1879.

(4) Bleekrode, *Journ. de Phys.*, t. IV, 2e série, p. 109; 1885.

(5) Andréeff, *Ann. de Chim.*, 3e série, t. LVI, p. 317; 1859.

(6) *Philosophical Trans.*, p. 188, 1860, et *Ann. de Chim.*, 3e série, p. 249.

(7) Ansdell, *Proc. Roy. Soc.*, t. XXX, p. 117; 1879.

Enfin, depuis la publication de notre travail ([1]), M. A. Perot ([2]) a publié une élégante méthode de mesure de la densité des vapeurs saturées, qu'il a appliquée à l'eau et à l'éther.

Dans les recherches que nous avons entreprises sur les densités des gaz liquéfiés et de leurs vapeurs saturées, nous avons opéré avec des appareils d'une grande simplicité, fabriqués entièrement en verre et pouvant résister à des pressions de plusieurs centaines d'atmosphères. Nos appareils sont disposés de telle sorte qu'une même masse de gaz peut, sans crainte de perte ou de mélange, être condensée dans le tube même où le liquide doit être étudié, et cela autant de fois que l'expérience l'exige.

I. *Densités des vapeurs saturées.* — Nous nous servons pour mesurer les densités des vapeurs saturées d'un tube de verre épais (*fig.* 1) exactement jaugé et soudé à un réservoir cylindrique d'environ 60^{cc}, ouvert à sa partie inférieure.

On a rigoureusement déterminé le volume total de l'appareil, ainsi que la valeur d'une de ses divisions. Lorsqu'on veut opérer, on fait plusieurs fois le vide dans l'appareil au moyen d'une pompe à mercure, en établissant chaque fois la pression par l'introduction dans le réservoir du gaz pur et sec que l'on veut étudier. On mesure enfin la pression et la température du gaz, afin de pouvoir calculer son poids.

Le réservoir est vissé sur l'éprouvette de l'appareil construit par l'un de nous pour ses recherches sur les gaz.

Le tube gradué est enveloppé d'un manchon en verre qui contient un liquide à température constante. On donne alors graduellement la pression, afin d'obtenir dans le tube une certaine quantité de gaz liquéfié. Après s'être assuré que la température est parfaitement fixe, on diminue la pression avec une grande lenteur, jusqu'à ce que la dernière goutte du liquide condensé disparaisse. On note alors la température ([3]), ainsi que la division de

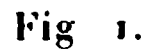
---

([1]) Cailletet et Mathias, *Comptes rendus*, t. CII; 31 mai 1886.

([2]) A. Perot, *Comptes rendus*, t. CII; 1886

([3]) Nous avons pu, grâce à l'obligeance de M. Broch, nous servir, pour les mesures des températures, d'un excellent thermomètre, vérifié au Bureau international des Poids et Mesures.

la graduation, correspondant à la hauteur du mercure. Cette détermination peut être faite avec une grande précision au moyen d'une lunette.


Fig 1.



M. Ansdell obtenait le point de saturation par l'observation d'un manomètre à air qui cessait de monter ou de descendre par compression ou décompression du gaz étudié. Connaissant le poids du gaz saturé et son volume, il est facile d'en déduire la densité.

Nos premières recherches ont porté sur le protoxyde d'azote, l'éthylène et l'acide carbonique ([1]).

Protoxyde d'azote. — Ce gaz a été préparé avec des précautions spéciales, afin de l'obtenir sans mélange d'air; deux séries d'expériences concordantes faites avec des échantillons de gaz différents s'étendent de — 28° à + 34°.

Voici les nombres que nous avons obtenus:

t.	Observé.	Calculé.	Δ.
+33°,9	0,2650	0,2745	+0,0095
+32,8	0,2500	0,2560	+0,0060
+30,7	0,2266	0,2285	+0,0019
+29,6	0,2112	0,2169	+0,0057
+28,0	0,2023	0,2019	—0,0004
+26,9	0,1936	0,1929	—0,0007
+25,4	0,1782	0,1814	+0,0032
+23,4	0,1690	0,1681	—0,0009
+20,7	0,1532	0,1532	0,0000
+17,2	0,1360	0,1351	—0,0009
+14,1	0,1284	0,1221	—0,0063
+13,5	0,1216	0,1200	—0,0016
+11,8	0,1140	0,1140	0,0000
+ 9,2	0,1066	0,1048	—0,0018
+ 6,1	0,0953	0,0953	0,0000
+ 4,0	0,0909	0,0894	—0,0015
— 1,5	0,0785	0,0762	—0,0023
— 4,0	0,0722	0,0709	—0,0013
— 7,5	0,0661	0,0643	—0,0018
—12,2	0,0566	0,0563	—0,0003
—21,5	0,0461	0,0442	—0,0019
—23,5	0,0413	0,0422	+0,0009
—27,0	0,0387	0,0390	+0,0003
—28,0	0,0378	0,0383	+0,0005

Les nombres de la troisième colonne ont été calculés au moyen de la formule

$$\delta = 0,5099 - 0,00361\,t - 0,0714\,\sqrt{36^\circ,4 - t},$$

([1]) Les densités sont rapportées à l'eau à + 4°.

qui assimile la courbe des vapeurs saturées à un arc de parabole et qui suppose la température critique du protoxyde d'azote égale à 36°,4 [1].

A cause de la très grande variation de la densité au voisinage du point critique, cette formule empirique ne représente convenablement les nombres fournis par l'expérience qu'à partir de 2° ou 3° au-dessous de la température critique; il en sera de même pour toutes les formules indiquées dans ce travail.

Éthylène. — Nous avons expérimenté sur de l'éthylène obligeamment préparé pour nos recherches par M. Riban : les déterminations s'étendent de — 30° à + 8°,9, température que nous n'avons pu dépasser à cause du point critique [2] situé dans le voisinage de + 12°, ainsi que l'un de nous l'avait précédemment montré.

Deux séries d'expériences ont donné les densités suivantes :

t. (°)	Observé.	Calculé.	Δ.
+ 8,9	0,1500	0,1572	+0,0072
+ 8,0	0,1400	0,1400	0,0000
+ 6,1	0,1233	0,1206	—0,0027
+ 4,5	0,1127	0,1098	—0,0029
+ 3,6	0,1033	0,1045	+0,0012
+ 3,3	0,1004	0,1026	+0,0022
+ 2,8	0,0923	0,1001	+0,0078
— 0,5	0,0860	0,0862	+0,0002
— 2,0	0,0831	0,0809	—0,0022
— 5,0	0,0727	0,0720	—0,0007
— 9,5	0,0632	0,0611	—0,0021
—11,5	0,0528	0,0571	+0,0043
—16,0	0,0501	0,0493	—0,0008
—23,0	0,0389	0,0398	+0,0009
—25,0	0,0357	0,0376	+0,0019
—30,0	0,0329	0,0327	—0,0002

Les nombres de la troisième colonne ont été calculés au moyen de la formule parabolique

$$\delta = 0,1929 - 0,00188\,t - 0,0346\sqrt{9,2 - t}.$$

[1] D'après M. Roth (*Wied. Ann.*, t. XI, p. 1; 1881).

[2] 9°,2 d'après MM. Van der Waals et Bleekrode.

Acide carbonique. — Nous avons fait avec ce gaz, préparé à diverses reprises, neuf séries d'expériences, toutes très concordantes, s'étendant de — 30° à + 30°,2, dont nous extrayons les nombres ci-dessous :

t.	Observé.	Calculé.	Δ.
°			
+30,2	0,3507	0,3629	+0,0122
+28,9	0,3118	0,3226	+0,0108
+28,1	0,3044	0,3040	—0,0004
+27,0	0,2864	0,2848	—0,0016
+26,1	0,2685	0,2699	+0,0014
+25,0	0,2543	0,2545	+0,0002
+23,7	0,2369	0,2389	+0,0020
+22,4	0,2288	0,2253	—0,0035
+21,3	0,2155	0,2149	—0,0006
+19,7	0,2014	0,2008	—0,0006
+17,3	0,1835	0,1823	—0,0012
+15,7	0,1712	0,1714	+0,0002
+13,6	0,1585	0,1586	+0,0001
+11,8	0,1451	0,1485	+0,0034
+10,1	0,1414	0,1400	—0,0014
+ 8,2	0,1304	0,1311	+0,0007
+ 6,7	0,1223	0,1240	+0,0017
+ 2,2	0,1040	0,1063	+0,0023
+ 0,5	0,0983	0,1010	+0,0027
— 1,4	0,0953	0,0949	—0,0004
— 5,0	0,0850	0,0841	—0,0009
—12,0	0,0692	0,0680	—0,0012
—16,0	0,0596	0,0596	0,0000
—21,8	0,0526	0,0498	—0,0028
—23,8	0,0475	0,0465	—0,0010
—24,5	0,0463	0,0455	—0,0008
—26,0	0,0414	0,0434	+0,0020
—27,9	0,0382	0,0413	+0,0031
—29,8	0,0352	0,0385	+0,0033

Les nombres de la troisième colonne ont été calculés au moyen de la formule empirique

$$\delta = 0,5668 - 0,00426\,t - 0,084\sqrt{31 - t}.$$

II. *Densités des gaz liquéfiés.* — Notre méthode repose sur le principe des vases communiquants qui a été appliqué il y a

quelque temps à la mesure rapide de la densité des liquides ordinaires et d'une façon si heureuse par M. L. Amat [1].

L'appareil que nous avons construit pour ces recherches se compose (*fig.* 2) d'un réservoir en verre soudé à un tube épais;

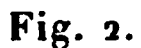
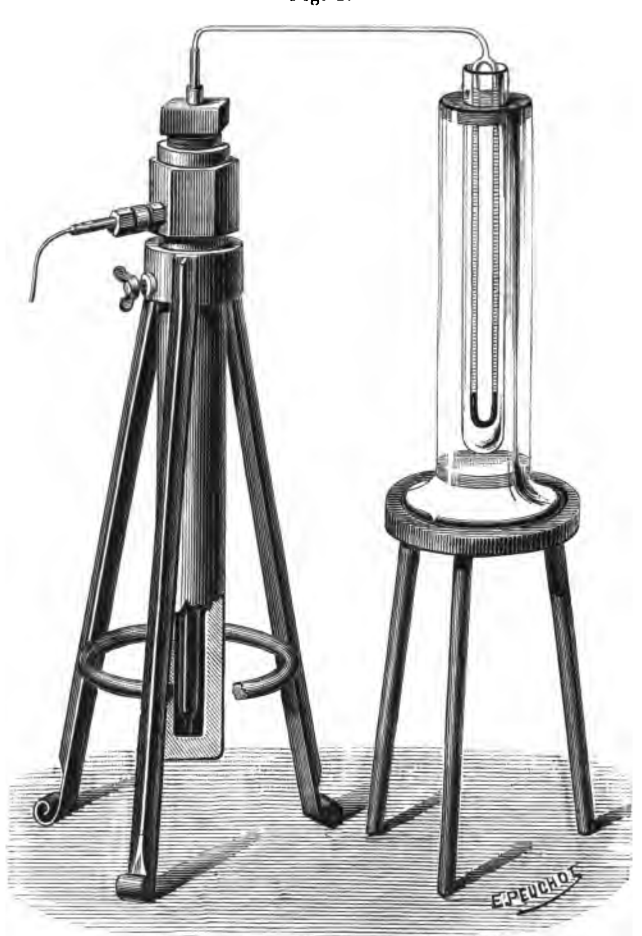


Fig. 2.



ce réservoir, dont le volume est d'environ 600^{cc}, peut être fixé au moyen d'un écrou sur une grande éprouvette en acier qui ren-

---

[1] L. Amat, *Bulletin de la Soc. Chim.*, nouvelle série, t. XLV, p. 482; 1886.

ferme du mercure. Un tube de verre en forme d'O, formé de deux branches parallèles verticales, d'environ $0^m,50$ de longueur et de $1^{mm},5$ de diamètre intérieur, est soudé au réservoir à gaz par l'intermédiaire d'un tube deux fois recourbé. L'appareil, entièrement en verre, a été essayé à 200^{atm}. Les deux branches parallèles du tube en O sont divisées en millimètres et contiennent une certaine quantité de mercure.

Lorsque l'on comprime le gaz contenu dans le réservoir au moyen de la pompe de notre appareil et qu'en même temps on refroidit une des branches du tube divisé, en vertu du principe de la paroi froide, une certaine quantité de liquide vient distiller et déprime le mercure; on a soin de condenser aussi un peu de liquide dans la seconde branche, afin de n'avoir pas à s'occuper de la correction de la capillarité, dont les effets s'annulent, les ménisques étant les mêmes dans les deux branches verticales.

Soient h la différence des hauteurs du liquide condensé dans les deux branches et x la densité de ce liquide.

Soient h' et δ la dénivellation du mercure et sa densité, et d la densité de la vapeur saturée à t^o; on a

$$hx = h\delta + (h - h')d,$$

d'où l'on tire x.

On voit que cet appareil nous permet d'opérer toujours avec la même masse de gaz qu'il nous est possible de faire passer à l'état liquide autant de fois que l'expérience l'exige.

Protoxyde d'azote. — Nos déterminations s'étendent de — 20°,6 à + 24°.

t.	Observé.	Calculé.	Δ.
+23°,7	0,698	0,709	+0,011
+22,7	0,729	0,720	—0,009
+19,8	0,758	0,750	—0,008
+16,7	0,791	0,779	—0,012
+14,5	0,800	0,796	—0,004
+13,1	0,809	0,808	—0,001
+11,7	0,810	0,819	+0,009
+ 9,0	0,846	0,839	—0,007
+ 6,6	0,849	0,856	+0,007
+ 1,4	0,866	0,889	+0,023

t.	Observé.	Calculé.	Δ.
°			
— 2,2	0,912	0,911	—0,001
— 5,5	0,9308	0,9294	—0,0014
— 7,3	0,953	0,939	—0,014
—11,6	0,9525	0,9608	+0,0083
—18,0	0,981	0,992	+0,011
—20,6	1,0026	1,0039	+0,0013

Les nombres de la troisième colonne ont été calculés au moyen de la formule empirique

$$\delta = 0,342 + 0,00166\,t + 0,0922\sqrt{36^\circ,4 - t}.$$

Éthylène. — Nous n'avons obtenu avec ce gaz liquéfié qu'un petit nombre de mesures; son extrême mobilité gêne beaucoup les déterminations.

M. Bleekrode ([1]) a mesuré avant nous, par la méthode d'Ansdell, trois densités de l'éthylène liquide à + 8°, + 6° et + 3°. Les résultats qu'il a trouvés sont sensiblement plus forts que les nôtres.

On se rappelle toutes les difficultés que Regnault a éprouvées en étudiant l'éthylène : nous devons faire les mêmes réserves que celles formulées par l'illustre physicien.

t.	Densités.
°	
—21,0.........	0,414
— 3,7.........	0,353
+ 4,3.........	0,332
+ 6,2.........	0,310

Acide carbonique. — Nos expériences s'étendent de — 34° à + 22°. Nous avons trouvé :

t.	Observé.	Calculé.	Δ.
°			
+22,2	0,726	0,727	+0,001
+20,9	0,755	0,744	—0,011
+19,7	0,770	0,758	—0,012
+16,5	0,788	0,791	+0,003
+15,9	0,796	0,796	0,000

([1]) Bleekrode, *Journ. de Phys.*, t. IV, 2e série, p. 109; 1885.

t.	Observé.	Calculé.	Δ.
+11°,0	0,840	0,840	0,000
+ 6,8	0,868	0,869	+0,001
+ 3,4	0,870	0,891	+0,021
+ 1,3	0,907	0,904	—0,003
— 1,6	0,910	0,920	+0,010
— 3,3	0,936	0,929	—0,007
— 8,2	0,955	0,954	—0,001
—11,5	0,966	0,967	+0,001
—14,5	0,985	0,980	—0,005
—23,0	0,998	1,010	+0,012
—25,0	1,016	1,018	+0,002
—30,0	1,013	1,033	+0,020
—34,0	1,057	1,045	—0,012

Les nombres de la troisième colonne ont été calculés au moyen de la formule empirique

$$\delta = 0,350 + 0,0035t + 0,101\sqrt{31 - t}.$$

On sait que M. Sarrau (¹) a pu calculer, au moyen des Tables de Clausius, les volumes spécifiques de l'acide carbonique à l'état liquide et de vapeur saturée.

Pour comparer nos résultats à ceux de M. Sarrau, nous avons représenté graphiquement (*fig.* 3) les densités, en prenant les températures pour abscisses et les densités pour ordonnées; nous avons mesuré sur la courbe les ordonnées correspondant à sept températures équidistantes de 10°; nous écrivons ci-dessous les nombres trouvés par M. Sarrau et ramenés à la même unité.

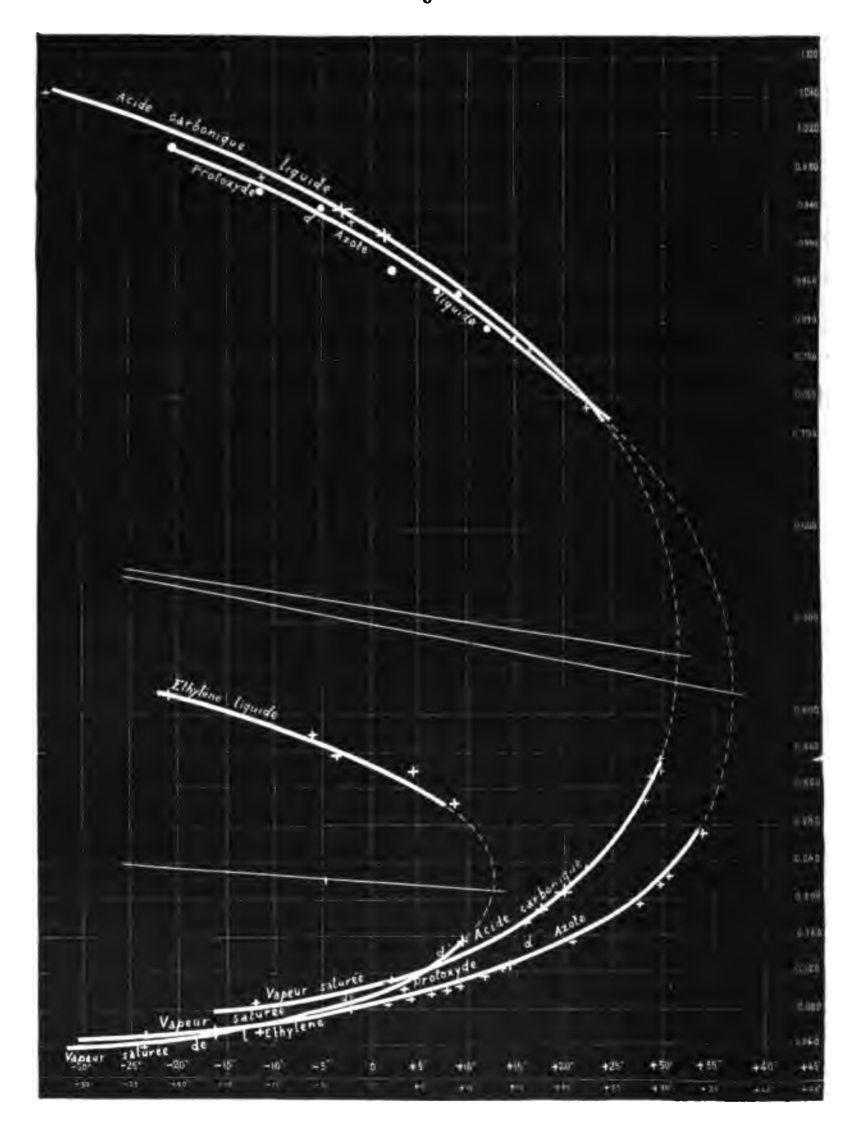
Enfin, les troisièmes lignes représentent les densités calculées par les formules empiriques.

	— 30°.	— 20°.	— 10°.	0°.	+ 10°.	+ 20°.	+ 30°.
			Vapeur saturée.				
Lu sur la courbe........	0,0360	0,0530	0,0730	0,0990	0,138	0,204	0,348
D'après M. Sarrau......	0,0378	0,0527	0,0736	0,0999	0,1386	0,1982	0,3472
Calculé par la formule...	0,0385	0,0522	0,0718	0,0997	0,1379	0,2035	0,355
			Liquide.				
Lu sur la courbe........	1,032	0,999	0,960	0,912	0,842	0,751	0,530
D'après M. Sarrau......	1,076	1,019	0,950	0,878	0,785	0,676	0,461
Calculé par la formule...	1,033	0,997	0,961	0,911	0,847	0,754	0,556

(¹) Sarrau, *Comptes rendus*, t. CI, p. 941, 994 et 1145.

Pour la densité de la vapeur, l'accord est très satisfaisant. Quant

Fig. 3.



au liquide, à raison des difficultés qu'on éprouve en opérant à basse température, on peut dire que, au-dessous de zéro, il y a

concordance entre nos nombres et ceux de M. Sarrau. Au-dessus de zéro nos nombres sont plus grands.

En résumé, les méthodes que nous venons de décrire peuvent être appliquées à tous les gaz dont le point critique est plus élevé que la température de congélation du mercure.

Dans la construction graphique des densités, chaque corps donne deux courbes qui semblent se raccorder au point critique. Si l'on cherche les milieux des cordes verticales, on trouve qu'ils sont très sensiblement sur les droites peu inclinées sur l'axe des abscisses.

On voit donc qu'au point critique la densité du liquide est égale à celle de sa vapeur; de là un moyen pratique de déterminer graphiquement la densité au point critique quand on connaît la température critique : on trouve ainsi pour

Acide carbonique...........	0,46
Protoxyde d'azote.........	0,41
Éthylène..................	0,22

Enfin, l'examen des courbes montre ce qu'on avait déjà signalé, c'est que la dilatation du gaz liquéfié est plus grande que celle du gaz lui-même (1).

III. *Application aux chaleurs latentes de vaporisation.* — Les quantités que nous avons mesurées, la densité des vapeurs saturées, et la densité des gaz liquéfiés sous la pression de la vapeur saturée, permettent le calcul de la chaleur latente de vaporisation, connaissant la variation de la force élastique maximum de la vapeur.

On sait, en effet, que l'on a, d'après la Thermodynamique, la formule suivante

$$L = \frac{T}{E}(u' - u)\frac{dp}{dt},$$

où

L est la chaleur latente de vaporisation à t^0;

(1) Ces courbes ne représentent que la marche du phénomène; pour les nombres, se reporter aux Tableaux contenus dans le texte.

T la température absolue, ou approximativement $273 + t$;
E l'équivalent mécanique de la chaleur;
u le volume spécifique du liquide à t^o;
u' le volume spécifique de la vapeur saturée à t^o;
p la pression due à la tension maximum de la vapeur.

On a effectué le calcul pour l'acide carbonique et le protoxyde d'azote, en se servant des Tables de Regnault pour les tensions maxima des vapeurs.

Pour simplifier, on a calculé la dérivée $\frac{dp}{dt}$ par la formule

$$\frac{p_{t+5} - p_{t-5}}{10},$$

qui est très approchée.

u et u' ont été formés au moyen des densités lues sur les courbes du tracé graphique.

Toutes les quantités sont exprimées dans le système du kilogrammètre. L'équivalent mécanique de la chaleur E a été pris égal à 425.

Acide carbonique. — Nous ne nous sommes pas contentés de calculer la chaleur latente de vaporisation d'après les nombres que l'expérience nous a fournis; nous l'avons aussi calculée en nous servant des nombres de M. Sarrau pour u, u' et $\frac{dp}{dt}$; il y a, comme on peut le constater, accord entre les deux séries de nombres (¹):

(¹) Les valeurs de u et u' du Tableau sont relatives à nos expériences. M. Sarrau n'ayant donné qu'un certain nombre de valeurs de u, u' et p, nous avons calculé toutes celles qui nous manquaient au moyen de l'équation caractéristique de CO^2 qu'il a publiée.

t.	u.	u'.	$\frac{dp}{dt}$.	D'après les nombres lus sur la courbe.	D'après M. Sarrau.	Calculé par la formule.
°			kg			
+31...	$\frac{1}{460}$	$\frac{1}{460}$	»	0	0	0
+30...	$\frac{1}{530}$	$\frac{1}{348}$	16634,160	11,60	8,43	10,86
+25...	$\frac{1}{684}$	$\frac{1}{284}$	15495,861	26,89	»	26,34
+20...	$\frac{1}{751}$	$\frac{1}{204}$	14351,583	35,33	34,63	35,30
+15...	$\frac{1}{800}$	$\frac{1}{167}$	13206,626	42,40	»	42,13
+10...	$\frac{1}{843}$	$\frac{1}{138}$	12085,587	48,76	46,81	47,75
+ 5...	$\frac{1}{880}$	$\frac{1}{114}$	10997,028	54,25	»	52,55
0...	$\frac{1}{912}$	$\frac{1}{99}$	9937,551	57,48	55,95	56,75
— 5...	$\frac{1}{937}$	$\frac{1}{85}$	8923,737	60,19	»	60,45
—10...	$\frac{1}{961}$	$\frac{1}{73}$	7962,109	62,38	62,87	63,76
—15...	$\frac{1}{980}$	$\frac{1}{62,8}$	7063,674	63,89	»	66,64
—20...	$\frac{1}{1000}$	$\frac{1}{53}$	6217,968	66,15	68,13	69,30
—25...	$\frac{1}{1016}$	$\frac{3}{43,3}$	5599,05	72,23	»	71,82
—30...	»	»	»	»	73,88	74,06
—50...	»	»	»	»	81,81	80,67

Les nombres de la dernière colonne ont été calculés au moyen de la formule

$$L^2 = 118,485(31 - t) - 0,4707(31 - t)^2,$$

qui représente un arc d'ellipse quand les températures sont portées en abscisses et les chaleurs latentes en ordonnées.

Cette formule, représentant aussi bien les chaleurs latentes calculées par les nombres de M. Sarrau que les autres, paraît devoir donner avec exactitude la variation de la chaleur latente de vaporisation.

Quoi qu'il en soit, les nombres qu'elle donne perdraient beaucoup de leur valeur si trois expériences de Regnault [1], malheureusement trop rapprochées, ne permettaient une vérification précieuse de la formule. Les nombres fournis par l'expérience et par la formule sont comparés dans le Tableau suivant :

---

[1] REGNAULT, *Relation des expériences pour déterminer*, etc., t. III, p. 925.

	t.	D'après Regnault.	Par la formule.
I..........	15°,627	39,53	41,35
II.........	17,575	38,82	38,80
III........	16,751	39,42	39,90

L'accord est aussi satisfaisant que possible, étant données les difficultés que Regnault a rencontrées dans la détermination expérimentale de ses nombres.

Protoxyde d'azote. — Le calcul a été fait comme nous l'avons indiqué; le Tableau ci-joint donne les résultats de ce calcul, ainsi que les données qui ont servi à l'effectuer.

t.	u.	u'.	$\frac{dp}{dt}$.	Chaleur latente.	Calculé par la formule.	Δ.
°			kg			
+36,4.	$\frac{1}{410}$	$\frac{1}{410}$	»	0	0	0
+35,0.	$\frac{1}{480}$	$\frac{1}{340}$	15845,36	9,87	13,51	+3,64
+30,0.	$\frac{1}{610}$	$\frac{1}{228}$	14452,30	27,81	28,37	+0,56
+25,0.	$\frac{1}{689}$	$\frac{1}{182}$	13165,60	37,29	37,16	—0,13
+20,0.	$\frac{1}{747}$	$\frac{1}{152}$	11972,392	43,25	43,71	+0,46
+15,0.	$\frac{1}{795}$	$\frac{1}{127}$	10883,82	48,80	48,93	+0,13
+10,0.	$\frac{1}{834}$	$\frac{1}{108}$	9891,28	53,08	53,21	+0,13
+ 5,0.	$\frac{1}{869}$	$\frac{1}{93,5}$	8966,845	56,65	56,76	+0,11
0,0.	$\frac{1}{903}$	$\frac{1}{80}$	8126,004	59,50	59,71	+0,21
— 5,0.	$\frac{1}{927}$	$\frac{1}{69}$	7356,13	62,20	62,16	—0,04
—10,0.	$\frac{1}{950}$	$\frac{1}{60}$	6656,928	64,25	64,15	—0,10
—15,0.	$\frac{1}{968}$	$\frac{1}{53}$	6008,780	65,04	65,72	+0,68
—20,0.	$\frac{1}{987}$	$\frac{1}{46}$	5421,594	66,90	66,92	+0,02
—25,0.	»	$\frac{1}{39}$	»	»	67,75	»
—30,0.	»	$\frac{1}{34}$	»	»	68,24	»

Les nombres de l'avant-dernière colonne ont été calculés au moyen de la formule

$$L^2 = 131,75(36,4 - t) - 0,928(36,4 - t)^2.$$

Ces nombres, ainsi que ceux calculés par la formule de la *Thermodynamique,* donnent les valeurs *probables* de la chaleur latente de vaporisation du protoxyde d'azote. Si on les compare à celle

de l'acide carbonique, on remarquera facilement qu'à égale distance du point critique, AzO et CO^2 ont sensiblement la même chaleur latente de vaporisation.

On sait d'ailleurs que ces deux corps ont des propriétés physiques extrêmement voisines.

SÉANCE DU 16 JUILLET 1886.

PRÉSIDENCE DE M. SÉBERT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 2 juillet est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. Grelley, Directeur de l'École supérieure du Commerce, à Paris.
Joly, Maître de conférences à la Faculté des Sciences de Paris.
Malosse (Dr), Agrégé à l'École de Pharmacie de Montpellier.
Nodon (Albert), Ingénieur civil, à Paris.

M. le Président fait hommage à la Société, de la part de M. Wolf, d'un Ouvrage intitulé : *Les hypothèses cosmogoniques. Examen des théories scientifiques modernes sur l'origine des mondes*, suivi de la traduction de la *Théorie du ciel, de Kant;* et, de la part de M. Caspari, du *Rapport de la Commission nautique spéciale : Phares électriques.*

M. le Secrétaire général présente, de la part de M. G. Chaperon, une Note sur la théorie mécanique des piles. L'auteur essaye dans ce travail de généraliser des relations données en 1881, entre les tensions de dissociation des composés constituant un couple voltaïque réversible et la force électromotrice ou la différence entre les chaleurs chimique et voltaïque dans ce couple.

L'expression du travail transformable nécessaire pour passer, à température constante, de l'un des états du couple à l'autre, est étendue au cas général de la dissociation hétérogène par une méthode qui s'applique à d'autres questions de Mécanique chimique.

On étudie ensuite un cycle permettant d'étendre les résultats au cas où le couple fonctionne à une température où les tensions de dissociation sont insensibles : le principe de Carnot appliqué à ce cycle montre l'indépendance des deux chaleurs en général; il indique de plus que la chaleur chimique ne saurait être très supérieure à la chaleur voltaïque pour un élément réversible qui met en jeu des composés *ne se dissociant qu'à des températures très élevées* (et satisfaisant, du reste, avec leurs composantes

aux lois de Kopp et Woestyn). L'action du dissolvant, examinée en dernier lieu, ne modifierait pas notablement ces résultats, *si l'élément restait réversible.*

On est donc conduit à penser que les systèmes électrochimiques si nombreux, où la chaleur chimique l'emporte beaucoup sur la chaleur voltaïque, sont en général *non réversibles,* alors même qu'ils se composent de deux métaux plongés chacun dans la dissolution d'un de ses sels.

Exemple : Fe SO^4 Fe, SO^4 Cu Cu — Ni SO^4 Ni, SO^4 Cu Cu.

M. Rivière communique, au nom de M. Chappuis et au sien, les résultats des recherches qu'ils ont entreprises sur la réfraction des gaz à l'aide d'une méthode qui a été exposée dans la séance du 16 novembre 1883.

A 21° et jusqu'à 19^{atm}, l'indice n de l'air sous la pression p, exprimée en mètres de mercure, est donné par la formule

$$n - 1 = 0,0003554p(1 + 0,00058p).$$

A la même température et dans les mêmes limites de pression, on a trouvé pour l'acide carbonique

$$n - 1 = 0,000540p(1 + 0,0076p + 0,0000050p^3).$$

Le cyanogène a été étudié à diverses températures, et chaque série d'expériences a été résumée par une formule de même forme que pour l'air. Comme indices à 0° et sous la pression 0,76, on a obtenu les nombres suivants :

Air	1,0002927
Acide carbonique	1,000448
Cyanogène	1,000825

La comparaison de la réfraction à la compressibilité a montré, pour l'air et pour l'acide carbonique, que, dans les limites des expériences, le phénomène était également bien représenté par les formules

$$\frac{n-1}{d} = \text{const.} \qquad \text{et} \qquad \frac{n^2-1}{(n^2+2)d} = \text{const.},$$

dans lesquelles d désigne le poids spécifique.

En ce qui concerne le cyanogène, les données relatives à la compressibilité sont insuffisantes et les auteurs se proposent de faire l'étude de cette propriété.

M. Scola présente, au nom de M. Ruggieri et au sien, une *nouvelle amorce électrique, à projection,* pour l'inflammation des mines. La nouvelle construction de cette amorce électrique à fil interrompu, dite *de tension,* permet d'obtenir une grande régularité dans l'écartement de la solution de continuité, entre laquelle éclatera l'étincelle de l'appareil de mise à feu. Cette étincelle électrique enflamme la pâte fusante de l'amorce et, par

suite, allume la mèche ou étoupille contenue dans le petit tube de carton qui entoure l'amorce. Les gaz, produits pendant cette combustion rapide, projettent, avec une grande vitesse, la mèche enflammée jusqu'au fond du trou de mine; la mine éclate.

L'amorce se place, à la manière d'un fausset, à l'entrée du trou de mine.

L'emploi de ces nouvelles amorces assure l'inflammation des mines et empêche tout accident résultant d'un retard dans l'inflammation.

M. E. Ducretet fait présenter par M. Scola un nouvel appareil destiné à *vérifier rapidement les amorces électriques à fil interrompu,* de façon à éliminer, avec certitude, toutes celles qui pourraient être défectueuses.

Ces amorces doivent être construites de telle sorte que l'étincelle éclate au milieu de la composition fusante. Il faut donc s'assurer :

1° Que les deux fils placés à l'intérieur de l'amorce ne sont pas en contact;

2° Que ces fils sont cependant assez rapprochés pour que l'étincelle éclate entre eux;

3° Que l'amorce est chargée.

L'appareil de M. E. Ducretet se compose de quelques éléments Leclanché (deux suffisent). Le courant traverse un interrupteur rapide, à mouvement d'horlogerie, puis une bobine à fil fin; en dérivation sur cette bobine, se trouvent un téléphone et deux coupelles de mercure dans lesquelles plongent les fils de sortie de l'amorce : elle complète le deuxième circuit.

Lorsqu'on met en mouvement l'interrupteur et qu'on plonge dans chacune des coupelles un des fils de l'amorce, on constate que : dans le cas où il y a contact métallique entre les fils de l'amorce, on perçoit dans le téléphone *un bruit insupportable.* Si les deux fils sont complètement isolés, cas d'une amorce non chargée, le téléphone *reste muet;* et, enfin, si l'amorce est de bonne qualité, on perçoit *une faible crépitation* résultant du passage du courant électrique à travers la matière fusante de l'amorce.

Ce son est produit par l'extra-courant, à chacune des interruptions du courant, dans le circuit principal.

L'appareil permet de vérifier, dans un temps très court, un certain nombre d'amorces dont la résistance peut varier entre 1 et 25 mégohms.

M. Émile Reynier expose à la Société un moyen de gouverner le *foisonnement* du plomb dans les accumulateurs.

Depuis que les plaques plissées de l'auteur sont soumises, avant la *formation,* au décapage nitrique de M. Gaston Planté, leur capacité électrochimique s'est accrue considérablement. Le foisonnement de formation a nécessairement augmenté dans la même proportion; le cadre fondu est devenu insuffisant pour le contenir. Les plaques se sont élargies jusqu'à rompre leur entourage. Parfois le plissé est sorti de ses plans-limites, faisant saillie de côté et d'autre, par des bosses qui peuvent accidentellement produire des contacts. On a restreint ces expansions en ménageant dans

les plissés des vides que le foisonnement vient remplir; mais ce moyen ne peut être pratiqué que modérément, car il faut conserver une certaine compression des produits de formation dans les plis de la plaque.

Ne pouvant supprimer radicalement les mouvements du plissé, M. Reynier a cherché à les gouverner, de manière à les rendre peu ou point nuisibles; il y est parvenu en *bombant* les plaques. Le foisonnement allonge ou raccourcit les rayons de courbure des électrodes bombées, mais il ne peut les bossuer. Le bombement a en outre l'avantage d'augmenter la raideur et la solidité des plaques.

Ce nouveau perfectionnement est largement expérimenté, depuis plusieurs semaines, à l'usine Blanc, à Marly (Suisse); ces essais confirment les résultats favorables obtenus d'abord dans le laboratoire de l'auteur. Le bombement des électrodes sera donc désormais pratiqué dans tous les accumulateurs industriels. La solidité déjà grande des plaques plissées sera ainsi augmentée encore, et les contacts accidentels, déjà rares, seront désormais radicalement évités.

SÉANCE DU 19 NOVEMBRE 1886.

PRÉSIDENCE DE M. SEBERT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 16 juillet est lu et adopté.

M. le Président annonce à la Société les décès de MM. Meurien, pharmacien à Lille, et Jules Duboscq, constructeur d'instruments de précision, survenus tous deux pendant la période des vacances.

Il rappelle que M. Jules Duboscq, praticien aussi instruit que modeste, a rendu de grands services à la Science par l'aide éclairée qu'il a donnée aux nombreux savants qui s'adressaient à lui pour la construction ou l'étude de nouveaux appareils. M. Duboscq, malgré l'état de sa santé, a, jusqu'à ses derniers jours, apporté à la Société de Physique un concours empressé. Il était toujours prêt à répondre à l'appel pour augmenter l'éclat de nos séances et nous apportait souvent la primeur des découvertes faites dans ses ateliers dans le domaine de l'Optique, dont il s'était fait une spécialité.

L'époque de sa mort, survenue à un moment où beaucoup d'entre nous étaient absents de Paris, a seule empêché la Société de Physique d'être représentée à ses obsèques par un plus grand nombre de ses membres.

M. le Secrétaire général signale dans la correspondance deux Notes de M. Pellerin, relatives à l'induction.

M. Leduc rappelle les deux méthodes qu'il a décrites dans la séance du 19 février 1886, et fait observer, relativement à la méthode fondée sur

la variation de la résistance du bismuth, que les échantillons de ce métal les plus sensibles à l'action du magnétisme sont ceux que l'on obtient par l'électrolyse de l'azotate de bismuth. Ceux que l'on produit par la décomposition lente du citrate ammoniacal sont de 20 à 25 fois moins sensibles.

M. Leduc a employé avantageusement ces méthodes pour étudier le champ produit entre les surfaces polaires d'un fort électro-aimant de Faraday, d'autant plus que la méthode fondée sur l'induction produite dans un toron par le renversement du champ peut conduire dans ce cas à des erreurs qui dépassent 5 pour 100, et que les autres méthodes fondées sur l'induction présentent ici d'assez grandes difficultés matérielles.

Les variations du champ en fonction de l'intensité du courant qui anime l'électro-aimant sont représentées par des courbes mises sous les yeux de la Société. La formule de Frœlich, $M = \frac{C}{a + bC}$, s'applique assez bien pour une petite distance des surfaces polaires; elle ne convient plus si cette distance dépasse $0^m,01$.

Tant que la valeur du champ ne dépasse pas 6000 C. G. S., on ne commet pas une erreur supérieure à 6 pour 100 en admettant que la valeur du champ est en raison inverse de la distance des surfaces polaires. Au contraire, si le champ dépasse 20000, on ne le réduit pas même de moitié en multipliant cette distance par 8.

M. Leduc termine par quelques considérations sur le champ des machines dynamos, et montre que :

1° Il est avantageux d'augmenter la distance d'entre-fers, tant qu'elle ne dépasse pas la moitié de la largeur des pièces polaires;

2° Si l'on veut doubler cette distance sans changer la valeur du champ, il faut au moins tripler le travail électrique dépensé;

3° Les armatures de faible masse sont les plus avantageuses.

M. Mascart demande si les erreurs de 5 à 6 pour 100 que M. Leduc dit avoir constatées par la méthode d'induction ne tiennent pas à la manière dont cette méthode était appliquée.

M. Leduc répond que ces erreurs sont systématiques et qu'il se réserve d'en indiquer les causes dans une Communication ultérieure.

M. Cabanellas dit qu'il peut répondre à la question de M. Mascart depuis ses mesures de précision avec la collaboration de M. Arnoux et le concours de M. Bary sur les flux développés dans un système magnétique de 400^{cmq}. Il a observé des durées variant de 15^s à 20^s pour l'établissement des $\frac{99}{100}$ du flux, une demi-heure pour la majeure partie du dernier centième et plusieurs heures pour le reste. L'erreur est donc d'autant plus grande que la durée d'oscillation du galvanomètre est plus faible. Avec anneaux fermés, on doit choisir la fermeture. M. Leduc a tenu compte du champ et du volume d'entre-fer; la densité du courant maximum de l'in-

duit est une troisième coordonnée non moins importante du pouvoir d'une dynamo.

M. Joubert fait remarquer que le fait qui vient d'être signalé, savoir que dans les gros électro-aimants l'aimantation met un temps appréciable à atteindre son maximum, est connu depuis longtemps et qu'il a été signalé à plusieurs reprises par Faraday. Dans les expériences de polarisation rotatoire, on peut suivre, pour ainsi dire à l'œil, le mouvement progressif de rotation du plan de polarisation.

Transport électrique des forces motrices.

M. Hippolyte Fontaine fait l'historique de la question.

Il rappelle que, dès 1873, il avait entrevu la possibilité de transporter de grandes forces à de grandes distances, avec un rendement satisfaisant. Ses expériences à l'Exposition de Vienne sont bien connues; il n'est cependant pas inutile de rappeler les termes mêmes dont il s'est servi alors pour les relater :

« Les machines Gramme, écrivait-il (*Revue industrielle,* 1873, p. 658), ont donné lieu, à Vienne, à une expérience qui pourra avoir un jour des applications très importantes. Une première machine était actionnée par un moteur à gaz, l'électricité produite était envoyée dans une deuxième machine, laquelle actionnait une petite pompe centrifuge. Comme nous n'avions aucun appareil de mesure, il ne nous a pas été possible de déterminer l'effet utile; cependant ces premiers essais ont démontré non seulement la possibilité de transmettre une force à longue distance, mais ils ont fait voir que le rendement était notablement plus grand qu'avec l'emploi d'autres appareils. »

M. Hippolyte Fontaine estime que la force était de $\frac{1}{3}$ de cheval et la distance d'environ 7 ohms.

A Philadelphie, en 1876, la Société Gramme exposait un transport de force de 2 à 3 chevaux traversant une résistance de 20 ohms.

A Paris, en 1878, la même Société exposait une véritable distribution de force : une même génératrice actionnait, simultanément ou séparément, une pompe, un ventilateur et une presse typographique.

Toutes ces démonstrations publiques n'ont pas réussi à attirer l'attention des manufacturiers sur le nouveau mode de transport des forces; il a fallu les grandes expériences de labourage par l'électricité, réalisées à Sermaize en 1879, par MM. Chrétien et Félix, pour faire entrer la question dans le domaine de la pratique industrielle. Les machines Gramme employées par MM. Chrétien et Félix tournaient à 1400 tours par minute et produisaient un courant d'environ 20 ampères et 400 volts.

A partir de 1879, les applications industrielles se développent rapidement et, à l'Exposition d'Électricité en 1881, on comptait plus de 50 machines employées à des transports de forces ou, pour mieux dire, à des transmissions électriques.

M. Hippolyte Fontaine ne croit pas que l'utilisation, au loin, des chutes d'eau soit aussi avantageuse qu'on se plaît souvent à le dire. En tenant compte des frais d'installation des moteurs hydrauliques et des dynamos, de la construction des barrages, des canaux de dérivation, de l'entretien, de l'intérêt des capitaux engagés, du rendement des dynamos, etc., etc., on arrive vite à une dépense totale supérieure à celle occasionnée par une machine à vapeur de même puissance, surtout quand on tient compte du prix de la chute elle-même, laquelle manque rarement de propriétaire. Tout autre est la question envisagée au point de vue des transmissions. Dans ce cas, l'intervention de l'électricité présente de nombreux avantages sur les systèmes actuellement en usage.

Si M. Hippolyte Fontaine a entrepris de nouvelles expériences de transport à grande distance, c'est seulement pour démontrer que les machines étudiées et construites par M. Gramme sont plus légères, moins coûteuses, meilleures, à tous les points de vue, que celles récemment expérimentées au chemin de fer du Nord.

L'installation faite au laboratoire de la *Compagnie électrique,* avec le concours de MM. Nysten, Dehenne et Chrétien, se compose de 7 machines Gramme fabriquées par l'inventeur, sur un modèle unique. Chacune d'elles développe, à la vitesse de 1400 tours, une force électromotrice de 1900 volts et une intensité de 10 ampères. La résistance de l'induit est de $4^{ohms},75$; celle de l'inducteur de $6^{ohms},50$. Le poids des 7 machines est de 8400 kilogrammes; leur prix total, de 16450 francs. Le générateur comprend 4 machines recevant le mouvement par friction. Ces machines oscillent sur un axe placé en dessous de leur socle. Des ressorts, convenablement disposés, règlent la pression des galets contre les poulies de commande.

L'appareil récepteur comprend 3 machines placées bout à bout et reliées par des manchons d'entraînement du système Raffard.

La résistance de la ligne interposée entre l'appareil générateur et l'appareil récepteur est de 100 ohms.

Les génératrices tournent à 1298 tours, les réceptrices à 1120.

La force dépensée est de 96 chevaux. La force transmise et constatée par le frein de Prony est de 50 chevaux, le rendement dépasse 52 pour 100.

M. Hippolyte Fontaine, après avoir résumé les principaux avantages des dispositions adoptées au laboratoire de la Compagnie électrique, donne quelques renseignements sur les installations industrielles suivantes, faites récemment par cette Compagnie.

A l'Hôtel de Ville de Paris, 2 machines Gramme génératrices, placées dans le local réservé à la force motrice, actionnent 35 réceptrices disséminées dans l'ensemble de l'édifice. Chaque génératrice débite un courant de 50 ampères et de 110 volts; toutes les réceptrices sont de même type, mais elles sont garnies de fil plus ou moins fin, suivant la puissance qu'elles ont à développer. Cette puissance varie de 7 à 40 kilogrammètres. Les réceptrices sont toutes en dérivation sur le circuit principal; elles fonction-

nent, depuis trois ans déjà, très régulièrement et sont indépendantes les unes des autres.

Au chemin de fer de l'Est, dans les nouveaux bâtiments de la rue Lafayette, on a installé une machine Gramme génératrice qui donne le courant à 9 réceptrices actionnant chacune un outil mécanique. La puissance des réceptrices varie de $\frac{1}{2}$ cheval à 5 chevaux. Des transmissions par courroies avaient été primitivement montées dans cet atelier, mais elles donnaient des vibrations telles qu'il était impossible de travailler aux étages supérieurs.

La transmission électrique supprime ces vibrations et ont cet autre avantage de permettre de tirer un meilleur parti de l'espace, grâce à la possibilité d'orienter les outils, à volonté.

A l'entrepôt d'Aubervilliers se trouve une génératrice Gramme de 20 chevaux et 5 réceptrices. Quatre de ces réceptrices, de la puissance de 1 cheval, actionnent des pompes à mélasse ; la cinquième actionne un appareil de levage et développe un travail variant de 0 à 4 chevaux. Cette dernière tourne sensiblement à la même vitesse à blanc et à pleine charge.

Aux entrepôts de Roubaix, la Compagnie électrique a placé une génératrice de 40^{chx} envoyant le courant dans trois réceptrices produisant une puissance de 5^{chx} chacune à 900 tours et dans trois autres réceptrices produisant chacune 4^{chx} à 1200 tours.

La force électromotrice aux bornes de la génératrice est de 350^{volts}.

M. Hippolyte Fontaine indique les difficultés qu'on rencontre en pratique lorsqu'on veut faire des distributions de force avec des différences de potentiel dépassant 300^{volts}; il mentionne, en passant, la solution proposée par M. Gramme pour transformer les courants de tension en courants de quantités, et réciproquement.

Le transformateur Gramme, présenté à l'Académie des Sciences dès le 23 novembre 1874 (il y a douze ans), se compose d'un anneau dédoublé avec une série de bobines à gros fil et une série de bobines à fil fin, tournant devant les pôles d'un aimant ou d'un électro-aimant. L'inventeur l'a également exécuté en se servant de deux bobines placées sur le même arbre, l'une à fil fin, l'autre à gros fil. En envoyant le courant à travers les bobines à fil fin, l'arbre tourne, et il se développe dans les bobines à gros fil un courant de grande intensité et de faible force électromotrice.

En terminant, M. Hippolyte Fontaine combat cette opinion que la vitesse donnée par M. Gramme à ses machines est exagérée. Il existe, dit-il, plus de 1000 machines Gramme tournant à des vitesses de 1200 à 1500 tours, et cela depuis dix ans, sans avoir exigé la moindre réparation. On ne peut donc pas dire que cette vitesse présente de bien grands inconvénients en pratique.

Ce n'est d'ailleurs pas un des moindres mérites de l'inventeur d'avoir perfectionné suffisamment la partie mécanique de ses appareils, pour leur

permettre d'atteindre une allure aussi rapide, sans aucune détérioration, même après une longue période de temps.

M. Cabanellas remarque que M. Fontaine paraît regarder comme inséparables les hauts potentiels et le fil fin; dans les grands transports, les seuls économiques, à longue portée, on aura hauts potentiels et dynamos à gros fil.

Le transport de 50^{chx} avec 7 dynamos prouve la valeur du système indiqué et discuté au Congrès de 1881 par M. Cabanellas : combiner les données du transport de façon que chaque unité, réceptrice comme génératrice, puisse avoir l'unique régime *allure-courant* correspondant au maximum pratique de rendement et d'utilisation des matériaux.

M. Cabanellas avait cru et publié que M. Fontaine avait eu en 1873 la priorité du fait et de l'idée du transport avec deux dynamos. Il est curieux de retrouver dans les brevets de Bessolo en 1853 et 1855, non seulement cette idée, mais celles de la navigation, de la traction sur chemins de fer et sur routes avec sources d'électricité fixes, et de l'utilisation électrique des chutes d'eau et des vents.

Étude du champ magnétique produit par un électro-aimant de Faraday; par M. A. Leduc.

L'étude du phénomène de Hall (¹) nécessitait la connaissance exacte du champ magnétique produit entre les surfaces polaires de l'électro-aimant de Faraday dont je me suis servi pour ces expériences.

Au début, j'ai mesuré ce champ en y faisant tourner de 180°, autour d'un de ses diamètres, un toron dont le plan était primitivement normal aux lignes de force. Tant que la distance des pièces polaires dépasse 2^{cm}, cette méthode n'a d'autre inconvénient que d'exiger le secours d'un aide de laboratoire. Pour des distances plus petites, je m'adressai à la méthode employée par M. Rowland et plusieurs autres savants, qui consiste à produire un flux d'induction, dans un toron placé comme tout à l'heure, par le renversement du champ magnétique.

(¹) Voir *Séances de la Société de Physique,* 1886; p. 42. C'est par erreur que cet article *Sur le Phénomène de Hall* a été inséré à cette place.

La comparaison de mes nouveaux résultats avec ceux que j'avais obtenus précédemment ne me satisfit pas. Je ne me rendis pas compte à cette époque de la cause d'erreur qui pouvait affecter l'une ou l'autre de ces méthodes et j'abandonnai l'une et l'autre pour en créer une nouvelle fondée sur le même principe que le galvanomètre à mercure de M. Lippmann. Peu après, j'eus l'idée d'appliquer à la mesure des champs très étroits la variation de la résistance du bismuth. La première de ces méthodes, qui a l'avantage de fournir des mesures absolues, me donna des résultats presque identiques à ceux que j'avais obtenus par la rotation d'un toron. Cette confrontation avait un certain intérêt pour la nouvelle méthode et m'apprit en outre que la méthode du renversement du champ n'était pas applicable dans le cas présent à cause de la durée considérable de la période variable du courant. Le temps qu'il faut à ce courant pour recouvrer les 0,99 de sa valeur, après le renversement, peut dépasser en effet trente secondes, et se trouve compris, dans les cas moyens, entre quatre et douze secondes. Si l'on peut appliquer au courant induit dans le toron et à un galvanomètre quelconque les observations de M. Ledeboer relatives à la décharge des condensateurs dans un galvanomètre Deprez-d'Arsonval, il suffirait, pour que l'erreur ne dépassât point 1 pour 100, d'employer un galvanomètre dont l'équipage eût une durée d'oscillation supérieure à deux minutes. Point n'est besoin d'insister sur la difficulté qu'il y a à obtenir et à utiliser de pareilles durées d'oscillations.

Je ne reviendrai pas ici sur les méthodes auxquelles il vient d'être fait allusion et qui ont été décrites à plusieurs reprises. C'est par ces deux méthodes que j'ai obtenu les résultats suivants.

Dans notre électro-aimant les noyaux ont un diamètre extérieur de $0^m,16$, un diamètre intérieur de $0^m,04$ et une longueur de $0^m,28$. Ces noyaux sont recouverts de vingt-sept tours par centimètre de longueur d'un fil de cuivre de $0^m,003$ de diamètre (à nu). J'ai adapté à cet appareil des pièces polaires de masse et de forme variées.

J'ai constaté que la cavité cylindrique des noyaux (qui permet de faire des expériences sur la polarisation de la lumière) n'a pas

d'influence sur le champ produit entre les pièces polaires; on n'altère aucunement la valeur de ce champ en remplissant de fer cette cavité.

J'ai examiné successivement l'influence

1° De l'intensité du courant qui circule dans les hélices magnétisantes;

2° De la distance des surfaces magnétiques;

3° De la masse et de la forme des pièces polaires.

1. *Variation de l'intensité du courant.* — Les expériences les plus complètes ont été faites entre des armatures cylindriques ayant $0^{m},07$ de diamètre et $0^{m},023$ d'épaisseur. Tant que leur distance n'était pas inférieure à 1^{cm}, j'ai disposé entre elles, normalement aux lignes de force, l'explorateur de l'appareil manométrique traversé par un courant convenable. Pour les distances inférieures à $0^{m},01$, j'ai employé quelques-uns des filaments de bismuth dont la variation de résistance avait été préalablement étudiée. J'ai pu rapprocher aisément les surfaces polaires à une distance de $0^{m},0025$, et j'aurais pu les rapprocher davantage si je n'avais craint de faire une erreur relative trop considérable dans l'évaluation de cette distance.

Quelle que soit cette distance, il m'a paru impossible de représenter algébriquement, d'une manière générale, la variation du champ magnétique (en son milieu) en fonction de l'intensité C du courant magnétisant. La formule de Frœlich $M = \frac{mC}{1+\mu C}$ ne convient assez bien que pour les valeurs de C comprises entre 3 et 35 ampères, et si la distance des surfaces polaires ne dépasse pas 1^{cm}.

Je me suis donc borné à représenter, en général, par des courbes, les résultats de mes expériences, en ayant soin de déterminer chacune d'elles par un grand nombre de points. Le Tableau ci-dessous donne un exemple de la marche du phénomène; il est extrait d'une expérience faite avec une distance de $0^{m},02$ entre les surfaces polaires :

C.	M.	$\frac{M}{C}$.
1,55	1082	698
2,38	1665	700
2,87	2070	721
3,95	2840	718
4,32	3015	697
6,28	4110	654
8,05	4806	596
12,70	6570	498
16,90	7590	447
30,00	10570	352

On voit que le rapport $\frac{M}{C}$, qui a quelque analogie avec la perméabilité magnétique de Thomson, présente un maximum au voisinage de $3^{amp},3$ et diminue ensuite pour prendre à 30 ampères une valeur inférieure à la moitié de sa valeur maxima.

Le champ produit n'est donc sensiblement proportionnel au courant C que jusque vers 4 ou 5 ampères, et l'on peut admettre pour la valeur du champ jusqu'à cette limite, 700 unités par ampère.

On jugera par le Tableau ci-dessus de l'erreur que l'on commettrait en appliquant la même règle pour des courants plus considérables. Ainsi que nous venons de le voir, cette erreur serait de 50 pour 100 au voisinage de 30 ampères.

Les expériences faites avec des pièces polaires de masse plus considérable et en faisant varier la distance des surfaces magnétiques ont donné lieu à des remarques analogues. Mais :

1° Le maximum de $\frac{M}{C}$ se produit pour des valeurs de C d'autant plus petites (et pour des valeurs de M d'autant plus grandes) que les armatures sont plus rapprochées ;

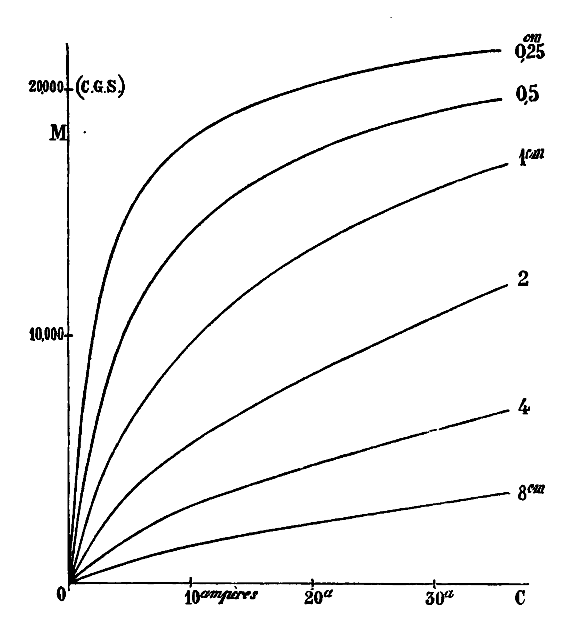
2° La diminution de $\frac{M}{C}$ est d'autant plus rapide que les armatures sont plus rapprochées.

2. *Influence de la distance des surfaces polaires.* — J'ai fait varier cette distance de $0^m,0025$ à $0^m,08$, en la doublant successivement. Tant qu'elle ne dépasse pas $0^m,02$, on peut admettre que le champ est absolument uniforme à l'intérieur des deux troncs

de cône ayant pour grandes bases les surfaces polaires et pour petite base commune un cercle de $0^m,03$ ou même $0^m,04$ de diamètre, placé au milieu du champ normalement à l'axe de l'appareil.

Le champ ne décroît que très lentement quand on s'éloigne de l'axe à l'intérieur du cylindre circonscrit aux pièces polaires.

Il n'en est plus de même lorsqu'on augmente la distance de ces pièces. Ainsi, à la distance de $0^m,04$, on observe que le champ magnétique a, en son milieu, une valeur inférieure de 1 à 2 pour 100 à celle qu'il prend près de l'une des armatures. Pour une distance des armatures de $0^m,08$, cette différence peut dépasser 10 pour 100.



Il est bien clair que, si les surfaces polaires étaient plus étendues, ces différences ne se produiraient que pour des distances plus grandes des armatures.

Je ne prétends point généraliser et appliquer, par exemple, au champ des machines dynamos les résultats que j'ai obtenus avec un certain électro-aimant et des pièces polaires de forme et de dimensions données. Toutefois, il n'est pas sans intérêt de tirer de ces expériences quelques conclusions que les courbes de la figure

(*fig.* 1) et le Tableau ci-dessous mettent en évidence. Ce Tableau est à double entrée, la colonne verticale de gauche indique la distance des surfaces polaires et la rangée horizontale supérieure le courant qui passe dans les hélices de l'électro-aimant. Les nombres situés dans le corps du Tableau mesurant en unités C.G.S. l'intensité magnétique observée au milieu du champ.

	C				
D.	2amp.	4amp.	8amp.	16amp.	32amp.
m 0,0025....	9060	13400	16930	19400	21100
0,005.....	5400	9200	12960	16130	18800
0,01......	2780	5460	8440	12200	15830
0,02......	1430	2820	4800	7380	10930
0,04......	750	1500	2750	4200	6500
0,08......	360	720	1370	2140	3400

On voit que, si le champ ne dépasse pas 5000 ou 6000, sa valeur est à peu près en raison inverse de la distance des surfaces polaires. Ainsi l'on a obtenu au moyen d'un courant de 2 ampères un champ de 5400 avec une distance de 0,005, et de 1430 avec une distance de 0,02. La loi ci-dessus aurait donné, dans ce dernier cas, le nombre 1350 dont l'erreur n'atteint pas 6 pour 100.

Il n'en est plus de même lorsque le champ varie au delà de 10000 et particulièrement lorsqu'il dépasse 20000. Ainsi, un champ de 21100 n'a pas été réduit de moitié lorsque l'on a multiplié par 8 la distance des armatures.

Si l'on envisage l'application aux machines, il est clair qu'il ne faut pas seulement chercher à obtenir des champs d'une grande intensité, mais bien à rendre maxima, pour un certain travail dépensé, une certaine fonction de cette intensité du champ et de son volume utile, telle que le produit de ces deux grandeurs. Or, si nous désignons par a la distance que l'on doit nécessairement laisser entre la dernière couche de fil de l'induit et la surface polaire de l'inducteur, ce produit est proportionnel à

$$M(D-a) \quad \text{ou} \quad MD \times \left(1-\frac{a}{D}\right).$$

Chacun de ces facteurs augmente avec D, il en est de même de leur produit. On voit donc que le champ est obtenu avec d'autant

plus d'économie que la distance entre l'anneau et les inducteurs est plus considérable. Il ne faudrait pas cependant que cette distance devînt plus grande que la moitié de la largeur des pièces polaires, car la valeur moyenne du champ décroîtrait alors plus vite que n'augmenterait cette distance.

Proposons-nous maintenant d'obtenir un champ d'une certaine intensité, et examinons, par exemple, dans quel rapport croîtra la dépense d'énergie (EC) si l'on veut doubler la valeur d'un champ précédemment obtenu sans changer la distance des surfaces polaires.

Il est clair que si l'on reste dans les limites où ce champ est proportionnel au courant qui sert à le produire, il suffira de doubler le champ magnétisant, et par suite de multiplier par trois environ la dépense d'énergie.

Si l'on part, au contraire, d'une valeur du champ telle que celui-ci ait cessé d'être proportionnel au courant, nos courbes montrent qu'il faudra tripler le champ magnétisant, et il est facile d'établir que la dépense d'énergie se trouvera multipliée par un nombre supérieur à cinq.

Les champs les plus faibles sont donc les plus économiques, et il importe beaucoup de ne pas dépasser la limite, variable avec la distance d'entre-fers, pour laquelle le champ magnétique cesse d'être proportionnel à la force magnétisante.

SÉANCE DU 3 DÉCEMBRE 1886.

PRÉSIDENCE DE M. SEBERT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 19 novembre est lu et adopté.

M. le Président annonce qu'une souscription nationale est ouverte pour l'érection d'une statue à François Arago, et que les souscriptions seront centralisées à l'Observatoire de Paris.

M. le Secrétaire général présente, de la part de M. Colson, capitaine du Génie, membre de la Société, une brochure ayant pour titre *Photographie sans objectif*. Cette brochure est accompagnée de quelques épreuves très

remarquables obtenues au moyen d'un simple trou de quelques dixièmes de millimètre, percé dans la paroi de la chambre noire, et d'une Note, dont il est donné lecture, dans laquelle l'auteur cherche à expliquer la production de ces images.

M. Leduc demande à présenter quelques remarques au sujet des observations faites par M. Cabanellas dans la séance précédente. Il ne s'explique pas comment on peut avoir un courant suffisamment constant pour affirmer que l'état d'équilibre magnétique peut n'être atteint qu'au bout de plusieurs heures. Ne s'agirait-il pas de la disparition du flux de force et non de son établissement? Quant à lui, il a observé des durées de quinze secondes pour le rétablissement (à 0,01 près) du courant après renversement. Les plus longues durées, contrairement à l'assertion de M. Cabanellas, correspondent au cas où le circuit magnétique est fermé; ce serait dans ce cas que la méthode de renversement serait le moins applicable.

M. Pellat présente à la Société un ampèremètre absolu qui est un électrodynamomètre-balance d'une forme nouvelle.

Il se compose d'une grosse bobine de $0^{m},50$ de long et de $0^{m},18$ de diamètre intérieur sur laquelle sont enroulées dix couches d'un fil de cuivre de $1^{mm},3$ de diamètre. A l'intérieur de cette bobine, dont l'axe est horizontal, se trouve une petite bobine à axe vertical ayant $0^{m},11$ de diamètre et $0^{m},08$ de hauteur, recouverte d'une seule couche d'un fil de cuivre de $0^{mm},5$ de diamètre; le centre des deux bobines coïncide.

La petite bobine fait corps avec un fléau de balance qui porte à son extrémité un plateau suspendu à la façon ordinaire. Le couteau sur lequel repose le fléau et celui du plateau sont en agate, ainsi que les plans correspondants.

Deux fils d'argent très fins, faisant deux tours de spire en face de l'arête du couteau qui supporte le fléau, permettent de faire passer le courant dans la petite bobine sans gêner en rien les mouvements du fléau.

En lançant le courant dont on veut mesurer l'intensité dans les deux bobines, la plus petite, se trouvant placée dans le champ magnétique à peu près uniforme produit par la plus grande, est soumise à un couple qui tend à faire basculer le fléau. On fait équilibre à ce couple en mettant dans le plateau de la balance des poids marqués. Soient p la masse en grammes de ces poids, g l'intensité de la pesanteur, l la distance des arêtes des deux couteaux, d le diamètre de chaque spire de la petite bobine, n le nombre de ces spires, N le nombre de couches de fil sur la grosse bobine, e la distance des axes de deux spires consécutives, enfin a un terme correctif nécessité par la longueur finie de la grosse bobine et qui est fourni par le calcul avec une très grande précision; on a, pour la valeur i de l'intensité du courant en unités C.G.S.,

$$i = \sqrt{\frac{gle}{\pi^2 d^2 n \mathrm{N}(1-a)}}\sqrt{p}.$$

Cette relation fait connaître i en fonction de la masse p employée; le facteur de $\sqrt{p}$ se détermine par des mesures de longueur faciles à effectuer avec précision; elles ont été faites en partie par les soins du Bureau international des Poids et Mesures, en partie par M. Pellat, mais rapportées à l'étalon international du mètre : ce facteur est connu avec une erreur relative inférieure à $\frac{1}{2000}$.

Pour équilibrer un courant de $0^{amp},3$, il faut placer $0^{gr},4180$ dans le plateau.

L'effet du champ magnétique terrestre, dont la composante horizontale n'est que la fraction $\frac{1}{137}$ du champ de la grosse bobine pour $0^{amp},3$, est annulé complètement en disposant le plan de mobilité du fléau perpendiculairement au méridien magnétique.

Des expériences ont montré que l'isolement des fils était pratiquement parfait et que l'aluminium qui forme le noyau de la petite bobine n'est pas assez magnétique pour fausser les mesures d'une quantité appréciable.

Une autre expérience, faite en déplaçant la grande bobine de sa longueur, a fait voir qu'aucune erreur matérielle ne s'était glissée dans le calcul assez long qui donne le terme correctif a.

Cet appareil a été construit par M. Carpentier.

M. Pellat se propose de déterminer à l'aide de l'ampèremètre absolu :

1° La valeur absolue de la force électromotrice du Latimer-Clark ($E = IR$);

2° Le rapport des forces électromotrices en unités électromagnétiques et en unités électrostatiques, en se servant, en outre, d'un électromètre absolu;

3° L'équivalent mécanique de la chaleur, en se fondant sur la loi de Joule. Le travail W ($= I^2RT$), converti en chaleur par le passage du courant I dans un fil de résistance R immergé dans un calorimètre, peut être connu à $\frac{1}{500}$ près.

En outre, MM. Pellat et Carpentier se proposent de construire des *ampèremètres-étalons* fondés sur le même principe que l'ampèremètre absolu, mais ayant des dimensions beaucoup moindres. L'intensité du courant sera fournie à l'aide de ces appareils par la relation $i = A\sqrt{p}$, A étant une constante pour chaque instrument, qui se détermine par comparaison avec l'ampèremètre absolu. Ces ampèremètres-étalons serviront dans les laboratoires à déterminer la constante des galvanomètres, ampèremètres, etc., ainsi qu'à quelques autres déterminations, en particulier celle de la composante horizontale du champ magnétique terrestre par une méthode rapide et précise, en faisant passer un courant connu dans le cadre d'une boussole des tangentes.

M. Moissan expose ses recherches sur l'isolement du fluor; il rappelle tout d'abord, sans s'y arrêter, ses expériences sur l'étincelle d'induction éclatant dans une atmosphère de trifluorure, de pentafluorure de phos-

phore, et enfin de trifluorure d'arsenic. Laissant de côté les différentes réactions chimiques entreprises dans le but d'isoler le fluor, il insiste plus particulièrement sur l'action d'un courant électrique sur le trifluorure d'arsenic.

Cette expérience, qu'il a reprise un grand nombre de fois, lui a démontré que, sous l'action d'un courant de 90 éléments Bunsen, l'arsenic se déposait d'une façon continue au pôle négatif, et qu'au pôle positif il se formait un corps gazeux qui était absorbé par l'excès de trifluorure; ce dernier passait donc à l'état de pentafluorure et ne permettait pas l'isolement du fluor.

Après de nombreux tâtonnements, M. Moissan s'est alors adressé à l'acide fluorhydrique anhydre. Ce corps, quand il est pur, ne conduit pas le courant; mais, s'il renferme un fluorure métallique, fluorure de platine, fluorure de potassium, il devient bon conducteur. M. Moissan indique alors les premières expériences tentées dans cette voie, la façon dont il a modifié successivement l'appareil de platine dans lequel se faisait l'électrolyse. Il s'est arrêté finalement à un tube en U en platine dont les deux extrémités sont fermées par des bouchons à vis. Chacun de ces bouchons est formé par un cylindre de spath fluor bien serti dans un cylindre creux de platine dont l'extérieur porte le pas de vis. Chaque cylindre de spath fluor laisse passer en son axe une tige carrée de platine iridié (10 pour 100 d'iridium), moins attaquable que le platine pur. Ces tiges, plongeant par leur extrémité inférieure dans le liquide, servaient d'électrodes. Enfin deux ajutages en platine soudés à chaque branche du tube, un peu au-dessous des bouchons, au-dessus, par conséquent, du niveau du liquide, permettaient aux gaz dégagés par l'action du courant de s'échapper au dehors.

Le tube en U plongeait à sa partie inférieure dans du chlorure de méthyle dont on activait l'évaporation par un courant d'air sec. On maintient ainsi l'acide fluorhydrique liquide à une température toujours inférieure à — 23° (température d'ébullition normale du chlorure) et pouvant atteindre — 50°, température facile à maintenir par le passage d'un courant d'air dans ce liquide. Un ampèremètre, placé dans le circuit, permet de se rendre compte de l'intensité du courant. Voici les résultats de l'expérience : au pôle négatif, on obtient un dégagement régulier d'hydrogène (de $1^{lit},5$ à 2^{lit} par heure) entraînant un peu d'acide fluorhydrique; au pôle positif, un dégagement aussi notable d'un gaz possédant les propriétés suivantes : il est absorbé complètement par le mercure avec production de protofluorure de mercure jaune clair. Il décompose l'eau à froid en donnant un dégagement d'ozone. M. Moissan insiste sur la façon de faire ces expériences et de mesurer les volumes gazeux produits à chaque pôle.

Le phosphore s'enflamme dans ce gaz en fournissant du fluorure de phosphore; le soufre s'échauffe, fond rapidement, et peut même s'y enflammer; l'iode s'y transforme, avec une flamme pâle, en un produit gazeux à peu près incolore; l'arsenic et l'antimoine en poudre y brûlent avec incandescence. Le silicium cristallisé prend feu au contact de ce gaz et brûle avec éclat en donnant du fluorure de silicium; le bore adamantin y brûle avec plus de difficulté. Le carbone semble sans action.

Le fer et le manganèse en poudre y brûlent avec étincelles; il attaque avec violence la plupart des corps organiques; l'alcool, l'éther, la benzine, l'essence de térébenthine, le pétrole prennent feu à son contact; un morceau de liège placé auprès de l'ajutage de platine par lequel le gaz se dégage se carbonise rapidement et s'enflamme. Ajoutons que le chlorure de potassium fondu est attaqué à froid avec dégagement de chlore. Enfin le tétrachlorure de carbone est décomposé et dégage du chlore.

Ampèremètre absolu; par M. Pellat (¹).

Grâce à la connaissance de la valeur de l'ohm, la mesure absolue d'une force électromotrice et celle d'une intensité de courant constituent aujourd'hui un même problème expérimental, puisque la relation d'Ohm ($E = IR$) fait connaître une des trois grandeurs qui y figurent quand les deux autres sont données.

Sans être impossible, la mesure directe d'une force électromotrice en valeur absolue est fort difficile; en outre, les divers éléments de pile, qu'on a proposés comme étalons de cette grandeur, sont loin d'être assez constants quand on se sert des méthodes précises que nous possédons maintenant pour la mesure relative des forces électromotrices.

La valeur absolue d'une intensité de courant peut s'obtenir plus facilement et avec plus de précision. Les méthodes employées dans ce but se divisent en deux groupes : dans le premier se rangent les méthodes où le magnétisme terrestre, intervenant, doit être mesuré ou éliminé par des expériences convenables (boussole des tangentes, méthode de Kohlrausch, etc.); dans le second, celles où le magnétisme terrestre n'intervient pas.

Les méthodes du premier groupe nécessitent plusieurs appareils qui doivent être assez éloignés les uns des autres pour ne pas s'influencer; on suppose que la composante horizontale du champ magnétique terrestre est la même aux divers endroits où sont placés les appareils, condition rarement réalisée dans un laboratoire, à cause des pièces de fer qui s'y trouvent. En outre, la multiplicité des mesures nuit à la précision du résultat.

(¹) Les deux figures qui accompagnent cette Note nous ont été obligeamment prêtées par *La Lumière électrique*.

Les méthodes du second groupe sont susceptibles d'une plus grande précision, sous certaines conditions cependant. Ainsi, l'on doit exclure des méthodes précises celles où les appareils renferment des aimants de fer ou d'acier, parce que les lois numériques de l'aimantation sont trop complexes et trop peu connues pour qu'on puisse fonder sur elles une mesure absolue. On est donc amené à n'utiliser que l'action mutuelle de deux conducteurs traversés par le courant étudié, c'est-à-dire à se servir d'un électrodynamomètre : on fait équilibre à l'action électrodynamique par une force d'une autre nature, connue en grandeur, d'où l'on conclut, d'après la loi d'Ampère, l'intensité du courant. Mais il est avantageux, pour la précision et la commodité de la mesure, que cette force antagoniste soit immédiatement connue en valeur absolue, sans qu'il soit nécessaire de faire, pour cela, une autre expérience. Or il n'y a qu'une force que nous connaissions immédiatement avec certitude, c'est le poids d'une masse prise dans une bonne boîte de poids.

On est conduit ainsi à se servir d'un *électrodynamomètre-balance*. Je rappellerai que MM. Joule, Cazin, Mascart, Helmholtz, etc., ont déjà employé des instruments de ce genre. C'est aussi à cette catégorie qu'appartient l'appareil que j'ai imaginé ([1]); il me paraît présenter quelques avantages sérieux au point de vue de la précision.

Cet électrodynamomètre absolu (*fig.* 1) se compose de deux bobines concentriques à axes rectangulaires : l'une, longue et grosse, a son axe horizontal; l'autre, placée à l'intérieur de la première, a son axe vertical.

Le même courant passe dans les deux bobines; la petite, se trouvant ainsi placée dans le champ à peu près uniforme produit par la plus grande, est soumise à un couple qui tend à dévier son axe de la verticale : c'est la mesure de ce couple qui fait connaître

---

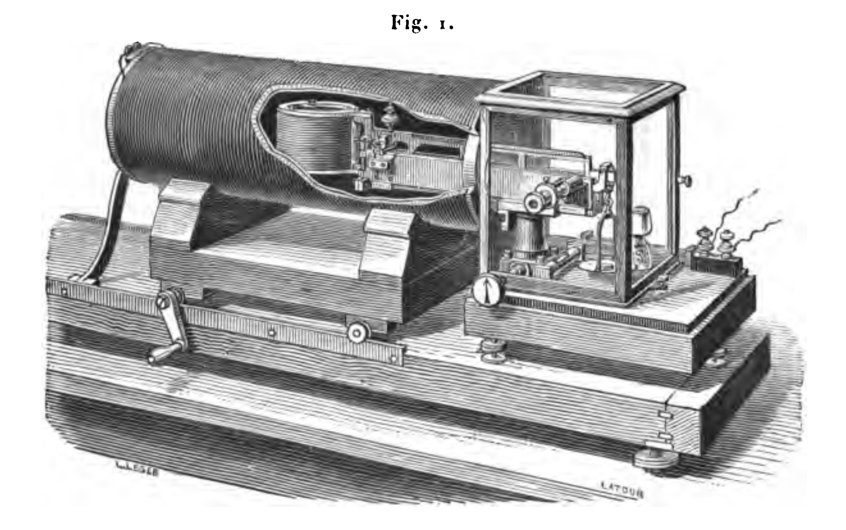
([1]) A la fin d'une Note à l'Académie des Sciences sur la détermination de l'ohm (*Comptes rendus* du 26 décembre 1882). M. Lippmann indique l'avantage qu'il y aurait à faire une boussole des tangentes ou un électrodynamomètre en plaçant à l'intérieur d'une longue bobine soit un aimant soit une bobine mobile. Ce n'est que récemment que j'ai eu connaissance de cette indication d'un appareil qui présente de commun avec le mien la grande longueur de la bobine enveloppe; mais cette Note ne dit pas si la force électrodynamique doit être équilibrée par un poids ou par l'action d'un bifilaire.

l'intensité du courant. Pour cela, la petite bobine fait corps avec un fléau de balance, qui porte à son extrémité un plateau suspendu à la façon ordinaire. En mettant des poids marqués dans ce plateau, on fait équilibre au couple électrodynamique. L'intensité i du courant est alors donnée en unités électromagnétiques C. G. S. par la formule

$$i = \sqrt{\frac{gle}{\pi^2 N n(1-a)d^2}}\sqrt{p}.$$

Dans cette formule, p représente la masse en grammes des poids marqués; g l'intensité de la pesanteur (980, 896 à Paris);

Fig. 1.



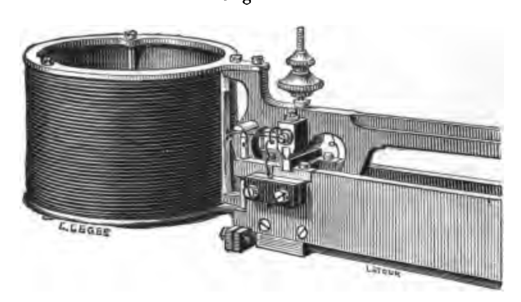
l la distance entre l'arête du couteau qui supporte le fléau et l'arête du couteau qui porte le plateau; e la distance entre les axes de deux spires consécutives du fil enroulé sur la grosse bobine (épaisseur du fil recouvert); N le nombre des couches de fil de cette bobine; n le nombre de spires de l'unique couche de fil de la petite bobine; d le diamètre de ces spires (plus exactement, le diamètre du cylindre idéal sur lequel se trouve l'axe du fil); enfin, a est un terme correctif nécessité par la longueur finie de la grosse bobine, et que le calcul fournit avec une très grande précision.

Dans chaque expérience, l'intensité du courant est ainsi donnée

par une pesée, le coefficient de $\sqrt{p}$ ayant été déterminé, une fois pour toutes, par la mesure des longueurs l, e et d et des nombres N et n.

Toute la valeur d'un instrument de ce genre dépend de sa bonne construction et du soin apporté à la détermination des longueurs qui entrent dans l'expression de la constante. La construction a été confiée à M. Carpentier; les mesures de longueur ont été faites les unes par le Bureau international des Poids et Mesures, les autres par moi-même, mais rapportées au mètre international. Voici, à cet égard, quelques détails.

Fig. 2.



La grande bobine dont le corps est un laiton a 50^{cm} de longueur et $17^{cm},3$ de diamètre intérieur. Elle porte dix couches d'un fil de cuivre de $0^{cm},13$ de diamètre recouvert de deux couches de soie; chaque couche de fil est séparée de la précédente par une feuille de papier arcansonnée : le tout est recouvert d'une enveloppe protectrice.

La petite bobine (*fig.* 2) est constituée par un cylindre d'aluminium de $0^{cm},4$ d'épaisseur, de 11^{cm} de diamètre et de 8^{cm} de hauteur (1); ce cylindre porte une seule couche d'un fil de cuivre de $0^{cm},05$ de diamètre recouvert de deux couches de soie; ce fil forme exactement 164 spires.

Pour établir la communication de cette bobine avec les autres parties du circuit, sans gêner les mouvements du fléau dont elle

(1) Le rapport de la hauteur au diamètre a été calculé de façon à avoir un couple électrodynamique maximum, étant donnée la plus grande dimension linéaire du cylindre.

est solidaire, j'ai employé deux fils d'argent très fins faisant deux tours de spires en face de l'arête du couteau qui supporte le fléau.

Les deux couteaux et les plans sur lesquels ils reposent sont en agate, aucune pièce d'acier ne devant exister dans l'appareil.

Les oscillations du fléau sont observées à l'aide d'un microscope peu grossissant, pourvu d'un réticule oculaire, qui vise une graduation sur argent, à traits horizontaux, portée par l'extrémité du fléau. On voit dans le microscope ces traits se déplacer verticalement pendant les oscillations.

Comme dans toute balance, une cage en verre protège tout l'appareil oscillant. Un bouton qu'on manœuvre de l'extérieur permet de soulever légèrement le fléau sur des fourchettes.

La distance l des arêtes des couteaux a été mesurée par le Bureau international des Poids et Mesures. L'erreur relative commise sur son évaluation est absolument négligeable.

Ce sont aussi les mêmes observateurs, MM. Benoît et Isaachsen, qui ont mesuré le diamètre du cylindre d'aluminium avant l'enroulement du fil. La mesure a été faite, pour huit diamètres équidistants sur chacune des bases du cylindre, avec le comparateur universel; une mesure a été faite aussi dans la partie médiane. Les mesures ont montré que le défaut de cylindricité était tout à fait négligeable, la moyenne des valeurs trouvées pour les diamètres des deux bases ne différant pas de $\frac{1}{100}$ de millimètre.

Ce cylindre a été ensuite placé entre deux joues de laiton pour les fixer au fléau, puis couvert d'une couche de vernis qui, quoique suffisante pour un bon isolement, est d'une épaisseur négligeable. C'est sur celle-ci que le fil a été enroulé. Avant et après l'enroulement, on a mesuré, avec un bon pied à coulisse, le diamètre du cylindre sur plusieurs génératrices, ce qui a donné l'épaisseur du fil enroulé.

Cette épaisseur a été obtenue encore par l'opération destinée à compter le nombre des spires : la bobine ayant été placée verticalement, j'ai compté le nombre des fils qui passaient devant le réticule de la lunette d'un cathétomètre bien réglé; tous les dix fils, je fixais la lunette et je mesurais son déplacement sur la règle graduée, pour éviter une erreur dans le numérotage des fils. On avait ainsi la hauteur occupée par toutes les spires et, en divisant

cette hauteur par leur nombre, le diamètre moyen du fil enroulé.

Les deux mesures ont donné des résultats concordants. En ajoutant le diamètre du fil à celui du cylindre nu, on a la valeur de d. L'erreur relative sur l'évaluation de d ne peut dépasser $\frac{1}{5000}$.

La mesure la plus délicate était celle de la distance moyenne e des axes de deux spires consécutives de la grosse bobine. Comme on ne pouvait songer à déplacer celle-ci pendant l'enroulement des diverses couches, cette mesure a été effectuée par moi-même dans l'atelier du constructeur. Voici le procédé que j'ai employé. J'ai fait construire une règle en laiton, taillée en biseau, portant vers ses deux extrémités deux traits distants de deux cents fois l'épaisseur du fil. La distance de ces deux traits a été mesurée exactement au Bureau international des Poids et Mesures par MM. Benoît et Pellat, avec la *règle normale* et le comparateur universel. Deux microscopes, pourvus de micromètres oculaires, assujettis d'une façon invariable à la règle de laiton, visaient chacun l'un des traits. Une monture permettait d'installer ce petit appareil sur le tour où se faisait l'enroulement, de manière à appliquer la règle sur la couche de fil parallèlement à l'axe de la bobine. En regardant dans l'un des microscopes, j'amenais, avec une vis de rappel, le trait correspondant à coïncider exactement avec la ligne de séparation de deux fils. En regardant alors dans l'autre microscope, je notais le nombre de divisions du micromètre oculaire existant entre le trait et la ligne de séparation de deux fils la plus voisine. La tare du micromètre oculaire étant déterminée, j'avais ainsi la longueur occupée par un nombre entier de spires P voisin de 200.

Pour connaître ce nombre P, sans être obligé de compter les fils, ce qui est une opération fatigante et sujette à erreur, j'ai employé une méthode de coïncidence. L'intervalle compris entre les deux traits avait été divisé en 200 parties égales, numérotées de dix en dix; chacune de ces divisions était ainsi à très peu près égale à l'épaisseur d'un fil. Le trait zéro coïncidant exactement avec la ligne de séparation de deux fils, les traits voisins coïncidaient à peu près; mais, en s'éloignant du trait zéro, l'écart entre un trait et la ligne de séparation de deux fils correspondante augmentait, en général, de plus en plus, jusqu'à atteindre l'épaisseur d'un fil : j'observais alors une nouvelle coïncidence, et le nombre

des fils était supérieur ou inférieur d'une unité au numéro du trait correspondant. Je notais ainsi, en général, au plus une seule coïncidence dans l'intervalle des traits extrêmes, de façon que le nombre des fils P était égal à 199, 200 ou 201.

Cette mesure était, du reste, toujours faite dans la partie moyenne de la grosse bobine dont l'effet sur la bobine mobile est prédominant. Elle était répétée, pour chaque couche, sur quatre génératrices équidistantes; pour la première couche, elle a été répétée sur sept génératrices. Le nombre e se trouve être ainsi la moyenne de quarante-trois mesures. Chacune d'elles était faite avec une erreur relative inférieure à $\frac{1}{3000}$; il est probable que la moyenne des quarante-trois mesures diminue notablement cette erreur; mais, même en admettant une erreur de $\frac{1}{3000}$ sur la valeur de e, il n'en résulterait qu'une erreur de $\frac{1}{6000}$ sur l'intensité du courant.

La méthode de coïncidence employée pour compter les fils présente, en outre, l'avantage de montrer immédiatement les irrégularités de l'enroulement, ce qui permet d'en tenir compte au besoin. La couche de fil, en général régulière dans sa partie moyenne, présente toujours des irrégularités vers les extrémités à cause du passage du fil d'une couche à la suivante, ce qui produit un ressaut dont l'effet se fait sentir sur les parties peu éloignées des extrémités. L'un des principaux avantages de la disposition de cet électrodynamomètre est précisément la distance relativement grande de la bobine mobile aux extrémités de la bobine fixe : les irrégularités inévitables du fil à ces extrémités sont ainsi sans influence appréciable sur le résultat.

En résumé, si l'on suppose que les erreurs relatives de ces diverses mesures s'ajoutent numériquement, on trouve que l'erreur qui en résulte pour l'intensité du courant ne dépasse pas $\frac{1}{2000}$.

Voilà pour les erreurs systématiques; quant aux erreurs accidentelles, elles se réduisent à l'erreur commise dans chaque expérience sur la mesure de p. Or la balance est sensible au dixième de milligramme, et un courant de $0^{amp},3$ nécessite pour être équilibré à Paris $0^{gr},4180$. Les courants les plus convenables pour une bonne mesure sont compris entre $0^{amp},2$ et $0^{amp},4$.

Le réglage de l'appareil se fait sans aucune difficulté : le cen-

trage des deux bobines, facile à obtenir, n'a pas besoin d'être fait avec précision, puisque la petite bobine se trouve dans un champ à peu près uniforme et dans la position qui correspond au maximum de la valeur du champ.

Pour éviter l'effet du magnétisme terrestre, on peut, après avoir établi l'équilibre, renverser le sens du courant dans la bobine fixe, sans le changer dans la bobine mobile; la masse qu'il faut ôter ou ajouter pour rétablir l'équilibre est exactement égale à $2p$, puisque l'action du champ magnétique terrestre sur la bobine mobile est la même dans les deux cas, tandis que l'action du champ de la bobine fixe est changée de signe. Mais il est, dans certains cas, préférable, pour la rapidité des mesures, de disposer le plan de mobilité du fléau perpendiculairement au méridien magnétique : l'action de la terre est ainsi annulée, ce dont on s'assure en lançant le courant dans la bobine mobile seulement, après avoir établi l'équilibre auparavant; celui-ci ne doit pas être troublé. Comme la composante horizontale du champ terrestre n'est que la $\frac{1}{130}$ partie environ du champ produit par la bobine fixe pour un courant de $0^{amp},3$, on voit que les variations de la déclinaison sont sans influence appréciable, et qu'il n'y a besoin de faire ce réglage que d'une façon approchée.

Plusieurs vérifications étaient nécessaires. Le bon isolement des fils a été constaté, pour les deux bobines, en mesurant la résistance du circuit formé par le fil et le noyau métallique de la bobine. Cette résistance a été trouvée assez considérable pour que les dérivations produites soient tout à fait insignifiantes.

Je me suis assuré, ensuite, que le magnétisme de l'aluminium qui formait le corps de la bobine mobile était trop peu important pour fausser la mesure. L'aluminium du commerce renferme toujours du fer qui doit s'aimanter sous l'influence du courant passant dans le fil de la bobine mobile; on pouvait craindre ainsi qu'un couple électromagnétique ne vînt augmenter l'action du couple électrodynamique, qui seul est introduit dans le calcul. Pour faire cette vérification, j'ai produit, à l'aide d'un fort électro-aimant placé au-dessous de la bobine mobile, un champ magnétique égal, dans le voisinage de celle-ci, au champ produit à son intérieur par un courant de $0^{amp},15$ environ, passant dans le fil dont elle est re-

couverte. L'électro-aimant devait, par conséquent, produire la même aimantation de l'aluminium qu'un pareil courant. Or l'équilibre ayant été établi sans faire passer aucun courant dans les deux bobines, il n'a pas été troublé en lançant un courant relativement intense dans la bobine fixe seulement : l'aimantation de l'aluminium était donc trop faible pour que le couple électromagnétique fût appréciable.

La troisième vérification a été relative à l'exactitude du calcul du terme correctif a. Ce calcul est long : les composantes horizontales et verticales du champ dues aux bouts de la bobine fixe ne peuvent être obtenues que par des développements en séries, et il faut intégrer par rapport à tous les éléments de la surface de base de la bobine mobile. Malgré tout le soin apporté à la vérification de chaque opération partielle, on pouvait craindre qu'une erreur ne se fût glissée dans le calcul. Heureusement que la disposition de l'appareil se prête à une vérification simple de l'exactitude du terme connectif a. En déplaçant la grosse bobine de sa longueur, on obtient sur la bobine mobile un effet beaucoup plus faible que dans la position normale. Or, le rapport des couples électrodynamiques dans ces deux positions se calcule au moyen des termes donnant la valeur de a, en y ajoutant seulement quelques termes peu importants et d'un calcul relativement facile; ce rapport diffère peu de $\frac{a}{2}$. D'autre part, l'expérience en fournit la valeur : c'est le rapport des poids qu'il faut mettre dans le plateau pour faire équilibre successivement à ces deux couples. Le calcul avait donné le nombre 0,0498; l'expérience a donné le nombre 0,0495. Pour montrer combien est grand l'accord de ces deux nombres, il suffit d'indiquer que le nombre observé deviendrait identique au nombre calculé, si l'on supposait une erreur de $\frac{1}{10}$ de milligramme seulement dans les deux opérations d'équilibre que nécessite la pesée, quand la grosse bobine est dans la position écartée, toutes les autres mesures étant supposées exactes : aucune erreur n'a donc été commise dans le calcul du terme a.

Les principales expériences que je me propose de faire avec cet appareil sont :

1° La détermination de la force électromotrice de l'élément

Latimer-Clark, le moins variable des éléments proposés comme étalons;

2° La mesure du rapport des unités électromagnétiques et électrostatiques en mesurant, en unités électromagnétiques à l'aide de l'électrodynamomètre absolu et en unités électrostatiques à l'aide d'un électromètre absolu, la force électromotrice de piles de 300 à 600 éléments.

3° La mesure de l'équivalent mécanique de la chaleur, en faisant passer un courant connu I dans une résistance connue R placée dans un calorimètre. Le travail (I^2RT) converti en chaleur peut être déterminé ainsi avec une erreur inférieure à $\frac{1}{450}$.

En outre, M. Carpentier et moi nous proposons de construire des *ampères-étalons* qui auront en plus petit la même disposition que l'électrodynamomètre absolu; ils fourniront l'intensité d'un courant par la formule

$$i = A\sqrt{p}.$$

Le coefficient A est indépendant de la température et varie proportionnellement à la racine carrée de l'intensité de la pesanteur : il sera déterminé pour chaque appareil par comparaison avec l'électrodynamomètre absolu.

Ces ampères-étalons pourront servir dans les laboratoires à régler, à leur tour, les divers ampèremètres ou à faire des expériences directes. En particulier, ils permettront de déterminer rapidement et exactement la composante horizontale du champ magnétique terrestre en lançant un courant connu dans le cadre d'une boussole des tangentes.

SÉANCE DU 13 DÉCEMBRE 1886.

PRÉSIDENCE DE M. SEBERT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 3 décembre est lu et adopté.

Est élu Membre de la Société :

M. Demerliac, Professeur de Physique au Lycée de Tourcoing.

M. le Président fait part à la Société de la perte qu'elle vient de faire

dans la personne de M. Jennesson, ancien principal à Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle). M. Jennesson suivait assidûment les travaux de la Société et lui portait un grand intérêt. Il a légué par testament à la Société une somme de 500fr.

M. le **Président** annonce aussi la mort de M. Félix Aubry, principal du collège de Bône (Algérie).

M. le **Secrétaire général** présente, de la part de M. Guillaume, un Mémoire *Sur les études thermométriques* faites au Bureau international des Poids et Mesures.

M. le **Président** communique à la Société une lettre de M. Cabanellas demandant, pour répondre aux objections faites par M. Leduc dans la séance précédente, à résumer dans les termes suivants les résultats qu'il a communiqués dans la séance du 19 novembre :

« 1° Si, le circuit magnétique étant très ouvert, on agit par fermeture du courant excitateur, le flux atteint les $\frac{99}{100}$ de sa valeur définitive en quinze à vingt secondes et trente secondes pour de très faibles résistances du circuit électrique total.

» 2° Si, le circuit magnétique étant bien fermé, on agit par ouverture du courant excitateur, le flux a perdu les $\frac{99}{100}$ de sa valeur en *une minute et demie;* le dernier centième met une demi-heure à disparaître *sensiblement*, car le phénomène n'est pas éteint *avant plusieurs heures.* »

M. **Guillaume** donne une description des thermomètres du Bureau international des Poids et Mesures et des procédés employés pour leur étude.

Ces thermomètres, fournis par M. Tonnelot, à Paris, sont en verre dur, à tige et tube cylindriques, à division équidistante en dixièmes de degré, et à réservoir soudé. Ils portent des points fondamentaux 0 et 100, et sont construits d'après trois modèles différents : thermomètres étalons avec toute l'échelle; thermomètres à une ampoule pour les températures comprises entre 0° et 50°; thermomètres à deux ampoules, ayant une division continue jusqu'à 39° environ.

L'étude d'un thermomètre comprend une partie individuelle qui consiste à déterminer ses corrections, c'est-à-dire les nombres à ajouter aux lectures pour les ramener à ce qu'elles seraient dans un instrument parfait de même nature; puis une partie générale, par laquelle on détermine, pour un thermomètre donné, la différence entre ses indications et celles du thermomètre à gaz. Les corrections résultant de cette dernière étude se rapportent alors à tous les thermomètres de même verre.

L'étude individuelle comprend la détermination : 1° des erreurs de division et de calibrage; 2° des coefficients de pression du réservoir; 3° de l'intervalle fondamental [0-100].

Pour les thermomètres Tonnelot, l'étude de la division se borne à la

vérification de l'équidistance des traits; les erreurs étant, en général, inférieures à 0°,001, il est très rare qu'on ait à en tenir compte.

On calibre un thermomètre en comparant entre eux différents volumes du tube au moyen de colonnes de mercure que l'on observe en divers endroits, déterminés par le diagramme du calibrage. L'équation de condition que l'on obtient par une observation est de la forme

$$x_i - x_k + \lambda_m = a_{ik},$$

x_i et x_k étant les corrections des points I et K dans le voisinage desquels sont les extrémités de la colonne, λ_m l'excès moyen de la longueur d'une colonne sur l'intervalle de m divisions, [IK] a_{ik} l'excès observé. Pour que les résultats d'un calibrage soient très précis, il faut établir un grand nombre d'équations de cette forme, et les résoudre par la méthode des moindres carrés. Pour un calibrage en n parties, le nombre des équations que l'on peut établir est $\frac{(n-1)(n+2)}{2}$, pour $2(n-1)$ inconnues x et λ. Les erreurs probables des x calculées au moyen des erreurs résiduelles, ainsi que des calibrages répétés, s'accordent à montrer que les corrections de calibre peuvent être déterminées à moins de 0°,001 près.

Les lectures d'un thermomètre sont ramenées à la pression extérieure normale et à la position horizontale. Pour faire cette réduction, on détermine les coefficients de pression extérieure et intérieure, β_e et β_i, qui, multipliés par les pressions en millimètres de mercure, donnent les corrections en degrés. Le coefficient de pression extérieure est déterminé directement, en observant les différences dans les indications du thermomètre exposé alternativement à la pression atmosphérique et à une pression voisine de zéro.

Le coefficient β_i peut se déduire de β_e par la relation

$$\beta_i = \beta_e + k(\chi_m - \chi_v),$$

χ_m et χ_v désignant les coefficients de compressibilité du mercure et du verre, k un facteur de réduction aux mêmes unités. Les valeurs données par divers observateurs pour χ_m et χ_v diffèrent trop pour qu'on puisse adopter l'une ou l'autre sans critique. M. Guillaume fait remarquer que le coefficient trouvé par M. Descamps dans ses expériences sur la compressibilité du mercure n'est pas χ_m, mais un nombre très voisin de $\chi_m - \chi_v$; on a adopté le nombre de M. Descamps comme correction totale. Ce coefficient est : $1{,}84 . 10^{-6}$ pour une mégadyne par centimètre carré, ou $1{,}54 . 10^{-5}$ degrés par millimètre de mercure. La détermination directe de β_i a vérifié cette relation.

Pour déterminer l'intervalle fondamental des thermomètres, on les observe dans la vapeur d'eau bouillante, après avoir mesuré la pression atmosphérique; puis, après les avoir refroidis rapidement, on les observe dans la glace fondante. La première détermination a lieu dans un appareil à ébullition construit dans les ateliers du Bureau international, sur les des-

sins de M. Chappuis; cet appareil, qui dérive de celui de Regnault, en diffère essentiellement en deux points : 1° le thermomètre est placé dans un tube séparé de la chaudière; 2° les observations peuvent être faites en position verticale et horizontale; on peut ainsi déterminer directement le coefficient de pression β_i des thermomètres. La pression barométrique est réduite à 0° de température, au niveau de la mer et à 45° de latitude, pour tenir compte de la variation de *g*. Le zéro est déterminé en position verticale. La glace, finement râpée et trempée d'eau, est placée dans une cloche en verre où on la tasse fortement. Le thermomètre est maintenu par la tige; le réservoir, tout entouré de glace, ne doit subir aucune pression de la part de celle-ci. La détermination d'un intervalle fondamental est soumise à diverses causes d'erreurs, dont les plus considérables proviennent des impuretés de la glace et des mouvements du zéro. Cependant, l'erreur probable d'une moyenne de cinq déterminations dépasse rarement 0°,002.

En somme, les corrections totales de chaque point d'une échelle thermométrique peuvent être garanties à 0°,002 ou 0°,003 près.

A la suite de cette Communication, M. Bouty adresse une demande à M. Guillaume au sujet des expériences de M. Descamps : selon lui, ces expériences sont dues à la collaboration de MM. Jamin, Amaury et Descamps.

M. Benoit était au laboratoire de M. Jamin à l'époque où ces expériences ont été exécutées : l'idée de la méthode employée appartient à M. Jamin; les expériences ont été exécutées par M. Descamps et ont figuré dans une thèse publiée par ce dernier savant.

M. Lippmann fait remarquer que les résultats obtenus dans la détermination du point zéro varient avec l'origine et la nature du mélange réfrigérant; ainsi Bunsen préfère, pour le fonctionnement de son calorimètre, la neige très pure ramassée avec une *pelle de bois*.

M. Guillaume répond que M. Pernet a fait au Bureau international des expériences sur des glaces de diverses origines et a trouvé des différences qui pouvaient atteindre 3 millièmes de degré; après avoir essayé d'opérer avec de la glace artificielle, le Bureau international donne la préférence à de la glace naturelle de Norvège ou de Suisse, râpée et lavée à l'eau distillée.

M. Violle présente à la Société un appareil qu'il a disposé pour montrer les deux modes de réflexion d'un mouvement vibratoire. Cet appareil, construit par M. Kœnig, se compose d'un long tube à l'une des extrémités duquel est disposé un pistolet de salon, et dont l'autre extrémité porte une capsule manométrique reliée à un tambour à levier de M. Marey. L'ébranlement produit par l'explosion d'un peu de fulminate traverse le tube, se réfléchit contre l'extrémité fermée où il actionne la capsule manométrique et revient à l'origine qui peut être fermée ou bien ouverte : dans le premier cas, il reste condensant et va produire sur la capsule ma-

nométrique un effet de même sens que la première fois; dans le second cas, la condensation se transforme en dilatation et l'indication manométrique change de signe. L'ébranlement continuant sa route, les variations de pression restent toujours positives dans le tuyau fermé aux deux bouts; elles sont alternativement positives et négatives dans le tuyau ouvert. L'appareil est disposé de façon à permettre l'inscription de ces variations, avec celle des vibrations d'un diapason chronographique, soit sur un cylindre tournant, soit sur une plaque de verre. L'expérience est faite de cette deuxième manière devant la Société : la plaque enfumée est placée dans l'appareil J. Duboscq et le double graphique se dessine sur l'écran en même temps qu'il se produit sur la lame de verre.

A la suite de cette Communication, M. Mascart demande si les capsules manométriques obéissent assez vite aux impulsions qu'elles reçoivent : l'appareil présente-t-il un retard indépendant de l'amplitude?

M. Violle répond qu'il s'est assuré du bon fonctionnement des membranes (séance du 15 janvier), qu'avec l'appareil actuel le résultat est sensiblement indépendant de l'amplitude, à la condition de laisser de côté les relevés fournis par les deux premières portions du tuyau recourbé; il donne quelques chiffres à l'appui.

M. Carpentier présente un batteur de mesure, qu'il a combiné pour mettre sous la direction immédiate du chef d'orchestre de l'Opéra les chœurs et les parties instrumentales qui ne peuvent voir sa baguette. On a déjà essayé dans ce but des frappeurs électriques qui, en général, s'entendent mal, ou des baguettes mobiles qui se montrent rebelles aux mouvements qui sont en désaccord avec leur période propre d'oscillation et se prêtent mal aux changements brusques d'allure.

La disposition employée par M. Carpentier repose sur une pure illusion d'optique. Sur un panneau noirci, deux sillons ont été pratiqués et forment entre eux l'angle que l'on voit ordinairement décrire à la baguette du chef d'orchestre. Dans chacun de ces sillons, une règle carrée est montée de telle sorte qu'elle puisse rapidement pivoter autour de son axe d'un quart de tour et montrer alternativement deux de ses faces. L'une est noire, comme le panneau; l'autre, blanche. Quand, par un mouvement brusque, la face blanche est remplacée par la face noire, la règle semble disparaître; si, en même temps, le mouvement inverse se produit pour la deuxième règle, celle-ci apparaît. L'œil, qui se porte alternativement sur celle des règles qui est blanche, croit voir une règle unique se mouvoir entre deux positions extrêmes. Le mouvement est commandé par le pied du chef d'orchestre et s'exécute par un mécanisme très simple dont l'organe principal est un électro-aimant.

Sur l'étude des thermomètres à mercure [1];

par M. Ch.-Ed. Guillaume.

L'étude des thermomètres à mercure au Bureau international des Poids et Mesures est entrée dans sa période définitive; la construction des thermomètres, la détermination de leurs corrections et le mode d'emploi de ces instruments, qui ont subi dans ces dernières années d'importantes transformations, ne paraissent pas devoir se modifier beaucoup dans un avenir rapproché. On peut dès maintenant établir quelques prescriptions précises à ce sujet.

Je rappellerai que l'indication d'un thermomètre à mercure est fournie par la dilatation apparente du mercure dans le verre, mesurée en centièmes du volume [0·100], ce volume étant lui-même à la température à mesurer.

L'échelle thermométrique résultant de cette définition diffère en général de l'échelle absolue, donnée sensiblement par le thermomètre à gaz; mais les recherches récentes ont montré que, pour tous les thermomètres du même verre, manipulés d'une manière analogue, l'échelle est la même dans les limites des erreurs d'observation, c'est-à-dire à moins de 3 ou 4 millièmes de degré.

Cette proposition s'applique à un thermomètre idéal, permettant de faire un usage immédiat de la définition de la température qui vient d'être donnée. Pour tous les thermomètres, les lectures doivent être ramenées aux conditions que suppose cette définition, au moyen de corrections propres à chaque instrument et déterminées sur l'instrument lui-même. L'étude individuelle des thermomètres consiste dans la détermination de ces corrections; elles sont de trois espèces :

1° Corrections de calibre et de division, qui compensent les inégalités du tube et de la division;

---

(1) Résumé de la première Partie du Mémoire de l'auteur : *Études thermométriques* (*Travaux et Mémoires du Bureau international des Poids et Mesures*, t. V, Paris, Gauthier-Villars; 1886).

2° Corrections de pression extérieure et intérieure, servant à ramener les lectures à ce qu'elles seraient si le réservoir du thermomètre était toujours soumis à la même pression;

3° Corrections d'intervalle fondamental, qui servent à tenir compte de l'erreur commise par le constructeur sur l'intervalle [0·100].

Après avoir été corrigées au moyen des Tables données par l'étude individuelle, les lectures du thermomètre sont dans les mêmes conditions que si elles avaient été faites sur un thermomètre de même matière, dont la division est parfaitement régulière, et le tube cylindrique, et où 100 divisions valent 100°; de plus le réservoir est supposé soustrait à toutes les déformations dues à des causes étrangères à la température.

Si, maintenant, on établit, pour l'un de ces instruments la Table de correction pour ramener ses indications à l'échelle absolue, cette Table conviendra à tous les thermomètres du même verre, dont les indications sont corrigées au moyen des résultats d'une étude individuelle, sans qu'il soit nécessaire de recourir à la comparaison avec un autre thermomètre que l'on choisirait arbitrairement comme étalon.

Construction des thermomètres.

Les thermomètres étalons doivent être construits de manière à permettre une étude individuelle; ils doivent tous porter les points 0 et 100, ainsi que les parties intermédiaires de l'échelle servant à rapporter chaque point à l'intervalle [0·100]; mais une fraction de l'échelle, inutile pour les mesures que l'on se propose de faire, peut être remplacée par une ou plusieurs ampoules soufflées sur le tube capillaire; on peut ainsi raccourcir le thermomètre, en conservant au degré une longueur suffisante pour que l'on puisse faire de bonnes observations. Les principaux types de thermomètres employés au Bureau international sont à échelle entière, à une ampoule ou à deux ampoules; ces derniers ont respectivement une échelle continue entre 0° et 50°, et entre 0° et 38°. D'autres thermomètres d'une construction particulière servent au-dessous de zéro, ou entre 50° et 100°.

Le tube est à section circulaire; la tige est transparente et porte

une division équidistante en dixièmes de degré; ils sont munis à la partie supérieure d'une petite ampoule arrondie; ils sont en verre dur légèrement verdâtre. Le réservoir n'est pas soufflé; il est obtenu en rapportant à l'extrémité de la tige un petit tube de même diamètre, dont les parois ont une épaisseur convenable et bien régulière ($0^{mm},4$ à $0^{mm},5$) (¹).

Étude des thermomètres.

Division. — La première étude se rapporte à la division. Les corrections de calibre, étant déterminées pour un certain nombre de points, il faut pouvoir faire, pour les traits intermédiaires, une interpolation en supposant des abscisses équidistantes. Si les traits ne l'étaient pas suffisamment, il faudrait appliquer des corrections de division. L'étude d'un tracé a lieu en pointant chaque trait au moyen d'un microscope porté sur le chariot d'une machine à diviser. Les tracés de M. Tonnelot présentent rarement des irrégularités dépassant $0^{\circ},001$ (la longueur du degré étant de 5^{mm} à 8^{mm}). Une division aussi parfaite simplifie beaucoup l'étude du thermomètre. On a complètement renoncé aux divisions dites *rectifiées,* qui présentent toujours des discontinuités.

Calibrage. — Chaque point du thermomètre doit être rapporté au volume [0·100]; pour cela, on procède par subdivisions successives, jusqu'à ce que l'on ait déterminé les corrections d'une série de points assez serrés pour permettre une interpolation certaine. En général, les calibrages sont faits de 2° en 2°.

Pour les thermomètres avec échelle entière, on commence d'ordinaire par une division en 5 parties; puis chaque section de 20° est calibrée indépendamment. Au moyen d'une formule de transformation, on ramène toutes les corrections au système [0·100]. Pour les thermomètres à une ampoule, on fait d'abord une division en deux parties de l'intervalle [0·100]; puis une subdivision en cinq parties de la section [0·50]; enfin un calibrage serré de chaque section de 10°. Pour les thermomètres à deux ampoules,

(¹) Ces thermomètres sont fournis par M. Tonnelot à Paris.

la première subdivision comprend les sections [— 2·32], [32·66], [66·100]; puis on passe au calibrage serré de la section [— 2·38].

Comme on sait, les calibrages se font en comparant les volumes successifs du tube, au moyen de colonnes de mercure que l'on déplace le long du thermomètre. On arrive aisément à séparer à l'intérieur d'un thermomètre toutes les colonnes que l'on désire avoir, en utilisant la propriété de la colonne capillaire, de se séparer de nouveau à l'endroit où a eu lieu la jonction du mercure; les difficultés ne commencent en général à devenir très grandes que pour des index ayant moins de 1^{cm} à $1^{cm},5$ de longueur. La longueur des colonnes est mesurée à l'estime et rapportée aux divisions du tube. Les observations se font au moyen de petites lunettes montées sur une glissière.

Supposons une colonne placée entre les points I et K du tube; soient x_i et x_k leurs corrections de calibre; mesurée en fonction de la section moyenne du tube entre les points extrêmes du calibrage, cette colonne aura une certaine longueur $m+\lambda_m$, λ_m représentant l'excès très petit de la colonne sur sa longueur nominale de m^o. La longueur mesurée dans la position (IK) sera

$$m+a_{ik}.$$

En appliquant les corrections x_i et x_k aux extrémités de cette colonne et en supposant, comme première approximation, les longueurs proportionnelles aux volumes, nous aurons l'égalité

$$m+a_{ik}+x_k-x_i=m+\lambda_m$$

ou

$$x_i-x_k+\lambda_m=a_{ik}.$$

C'est l'équation fondamentale du calibrage, dans laquelle x_i, x_k et λ_m sont les inconnues, a_{ik} la quantité observée.

On peut calculer les corrections de calibre d'un tube, dès que l'on possède autant d'équations indépendantes que le problème contient d'inconnues. Mais, pour obtenir une grande précision, il est nécessaire d'établir beaucoup plus d'équations que d'inconnues.

En observant dans toutes les positions possibles toutes les colonnes de longueurs croissant en progression arithmétique depuis la distance de deux points consécutifs du calibrage serré, on

obtient, pour une division en n parties, $\frac{(n+2)(n-1)}{2}$ équations, formant un système symétrique de $2(n-1)$ inconnues, que l'on résout par la méthode des moindres carrés.

Les erreurs résiduelles qui subsistent, lorsqu'on introduit dans les équations de condition des valeurs calculées des x et des λ, permettent de déterminer les erreurs probables des inconnues. Dans un bon calibrage, les erreurs probables relatives aux corrections dépassent rarement 0°,0005. Cependant la vraie mesure de la précision est donnée par la répétition du même calibrage. Sur le conseil de M. Benoît, M. Isaachsen et moi, nous avons calibré indépendamment le même thermomètre à deux ampoules; les résultats ont pleinement confirmé les prévisions de la théorie; pour toute la section [— 2·38], la plus forte divergence était de 0°,0010.

Coefficients de pression. — Le coefficient de pression d'un réservoir thermométrique est la quantité qui, multipliée par la pression exercée sur le réservoir, donne la correction à appliquer à la lecture pour compenser l'effet de la pression. Les unités usuelles sont : pour les pressions, le millimètre de mercure multiplié par le g moyen, et pour les températures le degré. On distingue le coefficient de pression intérieure β_i, et le coefficient de pression extérieure β_e. Ces deux coefficients sont liés par la relation

$$\beta_i = \beta_e + k(\chi_m - \chi_v),$$

χ_m et χ_v désignant les coefficients de compressibilité du mercure et du verre, k un facteur de réduction aux mêmes unités β_e peut être déterminé avec une assez grande précision; la mesure de β_i est plus difficile.

Pour déterminer β_e, on enferme le thermomètre dans un tube de verre placé verticalement, et muni à sa partie supérieure de deux tubulures latérales à robinets, communiquant l'une avec l'atmosphère, l'autre avec un manomètre et un récipient dans lequel on a fait le vide. Le tube contient une petite quantité de mercure entourant le réservoir du thermomètre; le reste est rempli par de la glycérine; il plonge par le bas dans un seau plein d'eau, qui sert à régler la marche de la température. En ouvrant alternativement les deux robinets, on soumet le réservoir à des

pressions dont la différence, mesurée au manomètre, est voisine d'une atmosphère.

Soient a_1 et a_3 la première et la troisième lecture, faites sous la pression atmosphérique; a_2 la lecture intermédiaire sous la pression qui règne dans le récipient; P la différence des pressions. Si les lectures ont été faites à intervalles égaux, on pourra poser

$$P\beta_e = \frac{a_1 + a_3}{2} - a_2.$$

On établit un nombre suffisant d'équations de cette forme, en faisant une série d'observations, alternativement sous les deux pressions dont on dispose. Il faut éviter avec soin, dans ces expériences, certaines sources d'erreurs, qui peuvent dépasser sensiblement l'incertitude des observations; la capillarité de la colonne mercurielle, qui monte et descend alternativement dans le tube thermométrique, est la plus importante; on l'élimine en créant une marche de température assez forte, et en espaçant les lectures assez pour que le ménisque soit toujours ascendant au moment de l'observation. Les résidus d'élasticité peuvent aussi n'être pas négligeables pour certains verres; pour le verre dur, ils paraissent n'avoir aucune influence sensible.

J'ai trouvé, par des expériences directes, que le coefficient β_e augmente de 0,000156 de sa valeur par degré dont la température monte; cependant ces expériences sont trop délicates pour qu'il soit possible d'affirmer le second chiffre significatif de ce coefficient de variation.

Pour calculer β_i, nous avons besoin de connaître la différence $\chi_m - \chi_v$. Or les expériences classiques exécutées par MM. Descamps et Amaury dans le laboratoire de Jamin fournissent, comme j'ai eu l'occasion de le démontrer [1], non pas le coefficient χ_m, mais un nombre très voisin de $\chi_m - \chi_v$; il serait égal à cette dernière quantité si le piézomètre eût été sphérique. Faute de données précises permettant d'évaluer la divergence très faible entre le nombre donné par ces expériences et la différence en question, nous avons admis qu'elle était nulle. En réduisant le

---

(1) *Comptes rendus*, t. CIII, p. 1183-1186, 13 décembre 1886.

coefficient de M. Descamps, $1,87.10^{-6}$ par atmosphère, à nos unités $\frac{\text{degré}}{\text{mm}}$, on trouve

$$\beta_i = \beta_e + 0,0000154.$$

Des mesures directes de β_i faites sur plus de cent thermomètres de précision ont vérifié cette relation dans les limites de l'exactitude atteinte.

Connaissant β_e et β_i, on construit deux Tables donnant, la première les corrections de pression extérieure pour tous les millimètres de mercure, la seconde les corrections de pression intérieure pour tous les degrés, le thermomètre étant supposé vertical.

Jusqu'ici, on ne connaît pas de résultats précis permettant de tenir compte des variations de la pression capillaire dans l'intérieur du tube thermométrique. Ces variations sont un obstacle à l'emploi de thermomètres à tube très fin, et dont le degré dépasse une certaine longueur.

Intervalle fondamental. — Il reste à déterminer la valeur moyenne d'une division. Dès les premières recherches de thermométrie faites au Bureau international, on adopta, pour l'évaluation des températures, le mode opératoire indiqué par M. Pernet. Le thermomètre ayant été exposé pendant quelque temps à la température à mesurer, on fait la lecture, puis on détermine la position du zéro; c'est ce zéro actuel que l'on prend comme point de départ pour l'évaluation de la température correspondante. Le même procédé s'applique à l'intervalle fondamental; après avoir fait une lecture du thermomètre dans la vapeur d'eau bouillante, on le refroidit rapidement, et on l'observe dans la glace fondante.

L'appareil dont nous nous servons pour déterminer le point 100 dérive de l'appareil classique de Regnault, mais il en diffère en plusieurs points; il a été construit dans l'atelier du Bureau, sur les indications de M. P. Chappuis.

Le thermomètre T (*fig.* 1, 2, 3) est placé dans un tube à double circulation A, dans lequel la vapeur entre par l'axe B; ce tube peut être placé verticalement et horizontalement; il est relié à la chaudière C par un tuyau D. La vapeur, après avoir parcouru le tube, se condense dans un réfrigérant ouvert E. Les lectures ont lieu au moyen de la lunette L, portée par le tube, avec les mou-

vements de réglage nécessaires. Un manomètre à eau H indique


Fig. 1.

la surpression dans l'appareil.

La température de la vapeur est déduite de la pression barométrique réduite au niveau de la mer, et au 45e degré de latitude, afin de tenir compte des variations de g. Ce sont les observations alternatives du thermomètre en position horizontale et verticale

Fig. 2.

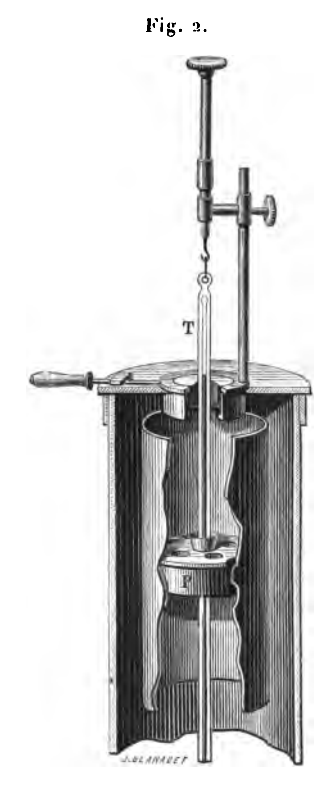
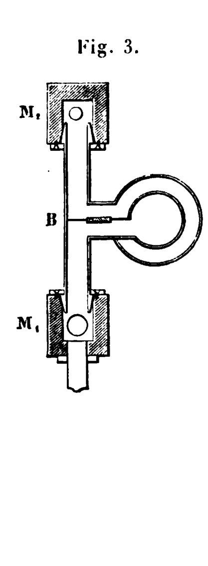


Fig. 3.



dans cet appareil, qui fournissent le meilleur contrôle pour le calcul du coefficient β_i.

Pour la détermination du zéro, nous nous servons de glace naturelle finement rapée. Cette glace, additionnée d'eau distillée, est placée dans un vase en verre A (*fig.* 4) de quelques litres de capacité, avec écoulement à robinet. Le thermomètre est pressé par un ressort C contre deux tiges BB garnies de liège. La glace doit toujours être trempée d'eau, mais il faut faire écouler l'eau qui reste en excès lorsqu'on la comprime fortement.

La détermination de l'intervalle fondamental est soumise à de

nombreuses causes d'erreurs, portant sur les lectures du thermomètre, et sur les circonstances physiques dans lesquelles il se trouve; cependant, en répétant cette détermination à diverses reprises dans de bonnes conditions, on peut être en général assuré

Fig. 4.



d'une précision de 0°,002 sur une moyenne de quelques observations. La plus grande cause de divergence provient des variations de la température ambiante. L'effet de ces variations est multiple, et assez mal défini. Pour des températures qui diffèrent de 15° à 20°, les valeurs de l'intervalle fondamental peuvent aisément présenter des divergences de 0°,01.

L'identité de l'intervalle fondamental de divers thermomètres ne peut être garantie, dans les limites indiquées, que si les observations ont été faites pour une température ambiante peu différente. Les déterminations sont réparties le plus souvent sur un espace de plusieurs mois; elles sont faites de préférence lorsque la température du laboratoire est comprise entre 6° et 12°. L'erreur de l'intervalle fondamental ne porte sur la mesure d'une température que proportionnellement à sa distance à zéro; or les limites des mesures de précision dépassent à peine 50°.

En récapitulant les diverses causes d'erreurs auxquelles est soumise l'étude individuelle d'un thermomètre, on voit qu'un observateur habile, en se servant des méthodes les plus perfectionnées, peut déterminer la correction totale de chaque trait d'un thermomètre étalon, à moins de trois ou quatre millièmes de degré près.

Appareil pour montrer les deux modes de réflexion d'un mouvement vibratoire; par M. J. Violle.

Au cours des expériences sur la propagation du son dans un tuyau cylindrique, dont les premiers résultats ont été communiqués à la Société dans la séance du 15 janvier (p. 23), j'avais été frappé de la netteté avec laquelle une membrane accuse les deux modes de réflexion du mouvement sonore à l'extrémité d'un tuyau cylindrique, suivant que cette extrémité est fermée par un fond solide ou librement ouverte à l'atmosphère.

Dans le premier cas, la réflexion se produit, comme l'on sait, avec changement de signe de la vitesse et conservation de signe de la condensation. Dans le second cas, c'est l'inverse qui a lieu, la permanence de l'un des signes entraînant nécessairement la mutation de l'autre.

Il suit de là qu'un ébranlement condensant qui se propage dans un tuyau fermé aux deux bouts reste toujours condensant; par suite, en un point quelconque du tuyau, chaque passage de l'onde se traduit par une variation positive de la pression. Si, au contraire, le tuyau est ouvert à un bout, la pression à l'autre bout éprouve des variations alternativement positives et négatives.

Pour montrer ces faits, il suffit de prendre un tuyau en zinc, d'une vingtaine de mètres de longueur et de $0^m,04$ à $0^m,05$ de diamètre, replié sur lui-même, de façon à être aisément maniable. A l'une des extrémités est disposé un petit pistolet de salon, qui sert à produire un ébranlement condensant par l'explosion d'une simple amorce au fulminate; cette extrémité du tuyau peut, d'ailleurs, être maintenue librement ouverte, ou bien être fermée par un bouchon, laissant seulement passer le canon du pistolet. L'autre extrémité du tuyau est toujours fermée et porte une capsule manométrique reliée par un tube de caoutchouc, de longueur quelconque, à une capsule de M. Marey, permettant d'inscrire le phénomène à côté des vibrations d'un diapason chronographique. Si l'on veut opérer par projection, on effectue la double inscription sur une lame de verre noircie, placée dans l'appareil Duboscq, et l'on voit alors l'image se dessiner sur l'écran en même temps qu'elle se produit sur la lame de verre. Pour une expérience de mesure, il est préférable de faire au cylindre tournant un graphique, tel que ceux que j'ai l'honneur de soumettre à la Société. D'une façon comme de l'autre, l'expérience est frappante : le maintien de la condensation dans un tuyau fermé et le changement de la condensation en dilatation par réflexion à l'extrémité libre d'un tuyau ouvert sont également manifestes.

L'appareil, construit très habilement par M. Kœnig, se prête parfaitement à la démonstration de la méthode employée par Regnault dans son grand travail sur la mesure de la vitesse du son.

Ainsi, avec un diapason de 100 vibrations doubles par seconde, je trouve, dans huit expériences successives, les temps suivants employés par l'onde à effectuer pour la quatrième fois le double parcours de la longueur du tuyau :

	s
Tuyau fermé	0,1440
» ouvert	0,1445
» fermé	0,1440
» ouvert	0,1445
» fermé	0,1455
» ouvert	0,1425
» fermé	0,1440
» ouvert	0,1450
Moyenne	0,1442

Les temps employés pour les parcours successifs sont :

Premier parcours	$0^s,1414$
Deuxième parcours	0,1417
Troisième parcours	0,1439
Quatrième parcours	0,1442
Cinquième parcours	0,1437

Après deux parcours, l'onde a déjà pris une vitesse uniforme et traverse le double de la longueur du tuyau en $0^s,1439$ (à moins de $0^s,001$ près.

Les graphiques donnent en outre immédiatement les valeurs des condensations et dilatations successives, qui constituent des documents très importants pour l'étude de la propagation du son.

Sur un appareil permettant de transmettre la mesure à des exécutants placés de manière à ne point voir le chef d'orchestre; par M. J. Carpentier.

La Note que j'ai l'honneur de présenter à la Société se rapporte à un « batteur de mesure » que j'ai combiné, à la demande des directeurs de l'Opéra. L'exécution des œuvres de musique théâtrale exige qu'à certains moments se fassent entendre, dans la coulisse, des chants, des chœurs, des parties instrumentales, et il est de la plus stricte nécessité que l'ensemble le plus parfait règne entre les musiciens dissimulés et ceux qui jouent dans la salle. Il faut que le chef d'orchestre puisse tenir sous sa direction ceux qui ne le voient pas, aussi bien que ceux qui suivent les mouvements de sa baguette; il faut, en un mot, qu'il possède un moyen de transmettre à distance les indications du rythme.

Divers appareils ont été proposés pour atteindre ce résultat. Les uns sont de simples frappeurs électriques, dont les avertissements s'adressent à l'oreille des intéressés ; les autres comportent une véritable baguette dont le mouvement donne un signe visible. Ces appareils sont, les uns et les autres, commandés électriquement à distance par le chef d'orchestre, à la disposition duquel est un manipulateur.

Les frappeurs s'entendent mal et sont insuffisants; les baguettes oscillantes, constituant de vrais pendules, se montrent rebelles aux mouvements qui sont en désaccord avec leurs tendances, et leur inertie leur défend de changer brusquement d'allure.

Le système qui m'est venu à la pensée est de la famille des signaux visibles. Il donne l'impression d'une baguette oscillante, mais il ne présente pas les inconvénients que je viens de signaler, parce qu'il repose, je dois le dire, sur une pure illusion d'optique.

Sur un panneau noirci, deux sillons ont été pratiqués et forment entre eux l'angle que l'on voit ordinairement décrire à la baguette d'un chef d'orchestre. Dans chacun de ces sillons, une règle carrée est montée de telle sorte qu'elle puisse rapidement pivoter autour de son axe d'un quart de tour et montrer alternativement deux de ses faces. De ces faces alternativement apparentes, l'une est noire, comme le panneau; l'autre est blanche. Quand, par un mouvement brusque, la face blanche est remplacée par la face noire, la règle semble disparaître; si, en même temps, le mouvement inverse se produit pour la deuxième règle, celle-ci apparaît. L'œil qui se porte alternativement sur celle des règles qui est blanche croit voir une règle unique se mouvoir entre deux positions extrêmes. Un mécanisme très simple, dont le principal organe est un électro-aimant, permet de produire le mouvement simultané de pivotage des deux règles, et le chef d'orchestre n'a, pour le commander à distance, qu'à appuyer sur un bouton ou une pédale en suivant le rythme qui correspond à la mesure.

L'illusion qui constitue l'artifice auquel je me suis arrêté repose sur ce double fait, que l'œil se précipite malgré lui sur les lignes qui se détachent en blanc sur un fond noir, et que, par suite de la persistance des impressions sur la rétine, il se charge, dans sa promenade alternative, de peindre en gris le secteur compris entre les deux limites de ses excursions.

OUVRAGES REÇUS PAR LA SOCIÉTÉ

PENDANT L'ANNÉE 1886.

Comptes rendus de l'Académie des Sciences, t. CII et CIII, 1886, in-4°.

Annales de Chimie et de Physique, 6e série, t. VII, VIII et IX, 1886, in-8°.

Annales scientifiques de l'École Normale supérieure, 3e série, t. III, année 1886, in-4°.

Annales télégraphiques, 3e série, t. XIII, janvier à octobre 1886, in-8°.

Bulletin de la Société philomathique de Paris, 7e série, t. IX, 1884-1885 et t. X, 1885-1886, nos 1 à 3.

Bulletin de la Société des Ingénieurs civils, année 1886.

Mémoires et comptes rendus des travaux de la Société des Ingénieurs civils, 4e série, 39e année, janvier à novembre 1886.

L'Électricien, t. X, année 1886, 1 vol. in-8°.

Bulletin international des téléphones, année 1886, in-4°.

La Chronique industrielle; par M. *Casalonga*, année 1886, in-4°.

La Revue industrielle, année 1886, 17e année, nos 16 à 49 et 51 et 52, in-4°.

Moniteur industriel, vol. XIII, nos 1, 7 à 52, année 1886, in-4°.

Revue internationale de l'Électricité et de ses applications, t. III, 2e année, 1886, in-4°.

Bulletin de la Société minéralogique de France, t. IX, année 1886, in-8°.

Ministère de l'Instruction publique. — Revue des Travaux scientifiques, t. VI, nos 1 à 9, 1885, in-8°.

Journal de Physique, Chimie et Histoire naturelle élémentaires, publié par M. *A. Buguet*, 1re année, 1886, in-8°.

Société nationale d'encouragement, novembre et décembre 1886, in-4°.

Anuario de la Oficina central meteorolojica de Chile, t. XVIII, janvier à août 1886, in-8°.

Proceedings of the Royal Society, vol. XLI, n°s 246 à 250.

Philosophical Magazine, fifth series, vol. XXI and XXII, 1886.

Annalen der Physik und Chemie, neue Folge, Band XXVII, XXVIII, XXIX, 1886.

Beiblätter zu den Annalen der Physik und Chemie, Band X, 1886.

Bulletin de la Société vaudoise des sciences naturelles, 3e série, vol. XXI, n° 93, et vol. XXII, n° 94.

Bulletin de la Société physico-chimique de Saint-Pétersbourg, t. XVIII, 1886.

Journal of the Society of Telegraph Engineers and of Electricians, vol. XV, n°s 60 à 63, 1886.

Elektrotechnische Zeitschrift; herausgegeben von elektrotechnischen Verein. Heft IX, 1886.

The American Journal of Science, 3e série, vol. XXXI et XXXII, 1886.

The Physical Society of London (Proceedings), vol. VII et vol. VIII, janvier à octobre 1886.

Annales de l'École polytechnique de Delft, t. II, 1886.

Die Fortschritte der Physik im Jahre 1879, XXXV Jahrgang.

Pontificia Universita Gregoriana. — Bullettino meteorologico dell' Osservatorio del Collegio Romano, vol. XXV, n°s 1 à 8, 1886.

Organe industriel (de Bruxelles), 14e année, 481 à 501-503 à 507-509 à 511, 512, 514 à 518; 1886.

Cronica cientifica, t. IX, 1886; n°s 194 à 203 et 220 à 218.

Bulletin de la Société belge d'Électriciens; t. III, année 1886.

Institutui meteorologic Romanei : Buletinul ministeruli agriculturei, industriei comerciului Saint Domeniilor, anul I, 1885; n°s 8 à 12.

The Electrician; vol. XVII, n°s 5 à 12-14 à 16-18 à 26; vol. XVIII, n°s 1 à 5 et 7 à 15.

Annales de l'Institut météorologique de Roumanie; par M. *Stefan C. Hepitès*, 1885, t. I.

Traité d'Électricité et de Magnétisme de James Clerk Maxwell, traduit par M. *G. Seligmann-Lui*, avec notes et éclaircissements par MM. *Cornu, Potier* et *Sarrau*, t. I, 3e fascicule.

Traité pratique d'Électricité; par M. *C.-M. Gariel*, 2 vol. in-8°.

Cours de Physique à l'usage des élèves des lycées et collèges de jeunes filles; par M. *Edmond Dubois*, 1 vol. in-8°.

Cours de Physique à l'usage des élèves de la classe de Mathématiques spéciales, t. II, 2e Partie. Optique géométrique; par M. *H. Pellat*, 1 vol. in-8°.

Recherches expérimentales sur l'influence du magnétisme sur la polarisation dans les diélectriques; par M. *Ed. van Aubel*, br. in-8°.

Note sur les rendements mécaniques et électriques obtenus dans les dernières expériences de Creil; par M. *René Arnoux*, br. in-8°.

Zur Analyse der Tonempfindungen; von *E. Mach*, br. in-8°.

Beiträge zur Analyse der Empfindungen; von *E. Mach*, br. in-8°.

Étude des bandes telluriques α, B et A du spectre solaire; par M. *A. Cornu*; br. in-8°.

Vérification expérimentale de la loi de Verdet dans les directions voisines des normales aux lignes de forces magnétiques; par MM. *A. Cornu* et *A. Potier*, br. in-4°.

Rapport sur une question de priorité de M. Mestre au sujet de l'intégraphe de MM. Napoli et Abdank-Abakanowicz.

Ueber den Uebergangswiderstand in dem galvanischen Lichtbogen; von *E. Edlund*, br. in-8°.

Note sur la théorie de l'induction unipolaire; par M. *E. Edlund*, br. in-8°.

Sur la force électromotrice de l'étincelle électrique; par M. *E. Edlund*, br. in-8°.

Note sur le contact physique; par M. *L. Pérard*, br. in-8°.

Ueber die Ablesung von normalbarometern und überhaupt von grösseren Flüssigkeitsoberflächen; von *Thiesen*, br. in-8°.

Nouvelle théorie servant à calculer le mouvement de la lumière dans les cristaux biréfringents symétriques et dans les cristaux hémiédriques non superposés; par M. *Colnet d'Huart*, br. in-8°.

Nouvelle théorie fondée sur l'expérience de la cause de la production de l'électricité dans les piles hydro et thermo-électriques; par M. *E. Delaurier*, br. in-8°.

Procédé pour résoudre facilement les problèmes de Chimie les plus compliqués par des équations tangibles à l'aide des notations et d'une méthode graphique; par M. *E. Delaurier*, br. in-8°.

Almanach-Annuaire de l'électrochimie et de l'électricité; par M. *Firmin Leclerc*, année 1886, 1 vol. in-8°.

Établissement d'une communication téléphonique entre Paris et Reims à l'aide des conducteurs télégraphiques existants; par M. *G. de la Touanne*, br. in-8°.

Téléphonie internationale. Rapport sur les expériences récentes faites aux États-Unis d'Amérique; par M. *F. van Reysselberghe*, br. in-8°.

Die Schwingungsknoten. Theorie der chemischen Verbindungen; von M. *Teplow*, br. in-4°.

Notes on the aspect of the Planet Mars in 1884. Accompanied by sketches made at the observatory Birr Castle; by *Otto Bœddicker*, br. in-4°.

On the changes of the radiation of heat from the Moon during the total eclipse of 1884, october 4, as measured at the observatory Birr Castle; by *Otto Bœddicker*, br. in-4°.

On the geological age of the North Atlantic Ocean; by *Edward Hull*, br. in-4°.

On the Collection of the fossil Mammalia of Ireland in the Science and Art Museum Dublin; by *V. Ball*, br. in-4°.

Discours prononcé par M. *René Goblet*, Ministre de l'Instruction publique et des Beaux-Arts, le samedi 1er mai 1886, à la séance de clôture du Congrès des Sociétés savantes à la Sorbonne, br. in-4°.

La photographie sans objectif; par M. *R. Colson*, 1 vol. in-18.

Sulla dilatazione e sui calori specifici e di trasformazione dell'azotato ammonico; par MM. *Bellati* et *Romanese*, br. in-8°.

Ueber die Darstellung des zusammenhanges zwischen dem gazförmigen und flüssigen Zustande der Materie durch die Isopyknen, br. in-8°.

Recherches expérimentales sur la capacité inductive spécifique de quelques diélectriques; par M. *Adrien Palaz* (Thèse), br. in-8°.

Undersögelse af Meteren H7 skjœnket den Norske justerbestyrelse i 1885; par M. le Dr *O.-J. Broch*, br. in-4°.

I Tabeller til brug ved Metronomiske undersögelser; von Dr *O.-J. Broch*, br. in-4°.

Dilatation du mercure; par M. le Dr *O.-J. Broch*, br. in-4°.

Note sur l'étalonnage des sous-divisions d'une règle, sur l'étude des erreurs progressives d'une vis micrométrique et sur le calibrage des thermomètres; par M. le Dr *O.-J. Broch*, br. in-4°.

Accélération de la pesanteur sous différentes latitudes et à différentes altitudes; par M. le Dr *O.-J. Broch*, br. in-4°.

Vérifications de quelques étalons anglais, du kilogramme, de l'once troy et de la livre avoir-du-poids; par M. le Dr *O.-J. Broch*.

Rapport de la Commission mixte chargée de la comparaison du nouveau prototype du kilogramme avec le kilogramme des Archives de France; par M. le Dr *O.-J. Broch*, br. in-4°.

Études thermométriques; par M. *Ch.-Ed. Guillaume*, br. in-4°.

Pesées exécutées au Bureau international des Poids et Mesures, du 1er octobre 1881 au 15 janvier 1883; par M. *W.-J. Marek*, br. in-4°.

Sur quelques analyses chimiques faites pour le Bureau international des Poids et Mesures; par M. *Tornoë*, br. in-4°.

Sur la diffusion de la chaleur; par M. *Léon Godard* (Thèse), br. in-4°.

Sur une nouvelle forme de lame. — Support pour accumulateur; par M. *A. Bandsept*, br. in-8°.

Notice sur C.-C. Person; par M. le Cte *de Chardonnet*, br. in-8°.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

LISTE DES MEMBRES.

ANNÉE 1887.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

44, RUE DE RENNES, 44.

(1887.)

BUREAU.

MM. WOLF, *Président.*
DE ROMILLY, *Vice-Président.*
JOUBERT, *Secrétaire général.*
POLLARD, *Secrétaire.*
RIVIÈRE, *Vice-Secrétaire.*
MAURAT, *Archiviste-Trésorier.*

CONSEIL.

Membres résidants :		*Membres non résidants :*	
MM. ANGOT.	1885.	MM. WARREN DE LA RUE (Londres).	1885.
BENOIT (René).		LEMSTRÖM (Helsingfors).	
MALLARD.		MOITESSIER (Montpellier).	
WEYHER.		NEYRENEUF (Caen).	
BAILLE.	1886.	BRILLOUIN (Toulouse).	1886.
GIRARDET.		DE CHARDONNET (Besançon).	
FRIEDEL.		LERMANTOFF (Saint-Pétersbourg).	
PELLAT.		ROUSSEAU (Bruxelles).	
CARPENTIER.	1887.	BIENAYMÉ (Toulon).	1887.
FOUSSEREAU.		COLNET D'HUART (Luxembourg).	
LEMONNIER.		HAGENBACH (Bâle).	
PLOIX.		RAYET (Bordeaux).	

ANCIENS PRÉSIDENTS.

1873.	MM.	FIZEAU.
1874.		BERTIN.
1875.		JAMIN.
1876.		QUET.
1877.		BECQUEREL (Ed.).
1878.		BLAVIER.
1879.		BERTHELOT.
1880.		MASCART.
1881.		CORNU.
1882.		GERNEZ.
1883.		JANSSEN.
1884.		POTIER.
1885.		MAREY.
1886.		SEBERT.

MEMBRES HONORAIRES (1).

MM. **BROCH** (**O.-J.**), Professeur à l'Université de Christiania.
FIZEAU (**A.-H.-L.**), Membre de l'Institut.
JOULE (**J.-P.**), de Manchester.
STOKES (**G.-G.**), Professeur à l'Université de Cambridge.
Sir WILLIAM THOMSON, F. R. S., Professeur à l'Université de Glasgow.
BECQUEREL (**Ed.**), Membre de l'Institut.
EDLUND, Professeur de Physique à l'Académie Royale des Sciences de Stockholm.
BELL (**Alex. Graham**), de Boston.
BERTHELOT (**M.**), Sénateur, Membre de l'Institut.

MEMBRES A VIE (2).

PUYFONTAINE (COMTE DE), 34, avenue Friedland.
* D'ALMEIDA, Inspecteur général de l'Instruction publique, Secrétaire général de la Société.
WARREN DE LA RUE, Correspondant de l'Institut, 7, Portland place, Londres, W.

---

(1) *Membres honoraires décédés :*

MM. A. BECQUEREL.	1874-78.
BILLET.	1876-82.
V. REGNAULT.	1876-78.
SECCHI.	1876-78.
JAMIN.	1882-86.

EXTRAIT DES STATUTS, Art. IV. — Le titre de Membre honoraire est conféré comme un hommage et une distinction particulière à des physiciens éminents de la France et de l'étranger.

Les Membres honoraires ont voix délibérative dans les séances de la Société et du Conseil. Ils sont nommés par la Société à la majorité des voix, sur la présentation du Conseil.

Il ne peut en être nommé plus de deux chaque année.

Leur nombre est de dix au plus.

(2) Les Membres résidants ou non résidants sont libérés de toute cotisation moyennant un versement unique de 200 francs ou quatre versements de 50 francs pendant quatre années consécutives. Les sommes versées pour rachat des cotisations sont placées en valeurs garanties par l'État et leur revenu seul peut être employé aux besoins de la Société. (STATUTS, Art. III, dernier paragraphe.)

(*) Membres décédés.

MM. Berthelot, Sénateur, Membre de l'Institut, 3, rue Mazarine.

Mascart, Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France, 60, rue de Grenelle.

Pérot, Dessinateur et Graveur, 117, boulevard de Créteil, Saint-Maur-les-Fossés.

* Niaudet, Ingénieur civil.

Salet, Maître de conférences à la Faculté des Sciences, 120, boul. Saint-Germain.

* Spottiswoode (W.), Président de la Société royale de Londres.

* Jamin, Membre de l'Institut.

Gernez, Maître de conférences à l'École Normale Supérieure, 17, rue de Médicis.

Maurat, Professeur au Lycée Saint-Louis, 31, boulevard de Port-Royal.

* Duboscq (Jules), Constructeur d'instruments de Physique.

Tuleu, Ingénieur, 17, rue Visconti.

Fontaine (Hippolyte), 15, rue Drouot.

Duclos, Inspecteur primaire à Muret.

* Blavier, Inspecteur général des Télégraphes, Directeur de l'École supérieure de Télégraphie.

Hugo (Comte Léopold), 14, rue des Saints-Pères.

Bischoffsheim (Raphaël-Louis), député, 3, rue Taitbout.

Poussin (Alexandre), Ingénieur, à Elbeuf.

Ollivier (A.), Ingénieur civil, 51, boulevard Beaumarchais.

Fernet, Inspecteur général de l'Instruction publique, 9, rue de Médicis.

Bardy, Directeur du Laboratoire central des Contributions indirectes, 26, rue du Général-Foy.

Angot, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 6, rue Cassette.

Alvergniat, Constructeur d'instruments de physique, 10, rue de la Sorbonne.

* Brion, Professeur de physique.

Muirhead (Dr Alexandre F. C. S.), 3, Elm Court, Temple E. C. Londres.

Caspari, Ingénieur hydrographe de la Marine, 28, rue Gay-Lussac.

Blondlot, Maître de conférences à la Faculté des Sciences de Nancy.

Guébhard, Professeur agrégé de Physique de la Faculté de Médecine, 15, rue Soufflot.

Raffard, Ingénieur, 16, rue Vivienne.

Gauthier-Villars, Libraire-Éditeur, 55, quai des Grands-Augustins.

Bordet (Lucien), ancien élève de l'École Polytechnique, 181, boulevard Saint-Germain.

Lippmann, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 108, boulevard Saint-Germain.

MM. * SAINTE-CLAIRE DEVILLE (Henri), Membre de l'Institut.

D'ABBADIE, Membre de l'Institut, 120, rue du Bac.

TEPLOFF, Colonel du Génie impérial russe, rue Vladimirskaïa, 15, Maison Friederichs, Saint-Pétersbourg.

VILLIERS (Antoine), agrégé à l'École de Pharmacie, 30, avenue de l'Observatoire.

JAVAL, Député, Directeur du laboratoire d'Ophtalmologie à la Sorbonne, 58, rue de Grenelle.

LEMONNIER, ancien élève de l'École Polytechnique, 26, avenue de Suffren.

TERQUEM, Professeur à la Faculté des Sciences, à Lille.

GROSSETESTE (William), Ingénieur, 11, rue des Tanneurs, Mulhouse.

POTIER, Ingénieur des mines, Professeur à l'École Polytechnique, 89, boulevard Saint-Michel.

MARTIN (Ch.), rue de Bonneval, à Chartres.

* MEYER (Bernard), Ingénieur des Télégraphes.

GRAY (Robert Kaye), Ingénieur électricien de l'India Rubber, Gutta and telegraph works C° limited, à Londres.

RODDE (Ferd.), 3, cité Magenta.

FRIEDEL, membre de l'Institut, 9, rue Michelet.

LESPIAULT, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

RODDE (Léon), rua do Ouvidor, 107 (Rio de Janeiro).

THOLLON, à l'Observatoire de Nice.

GARIEL (C.-M.), Membre de l'Académie de Médecine, Professeur à la Faculté de Médecine, 39, rue Jouffroy.

BARON, Directeur au Ministère des Postes et des Télégraphes, 64, rue Madame.

BUCHIN, 11, rue Roland, à Bordeaux.

RIVIÈRE, Professeur au Lycée Saint-Louis, 12, rue de la Sorbonne.

* MONCEL (comte DU), Membre de l'Institut.

JOUBERT, Professeur au Collège Rollin, 67, rue Violet.

CABANELLAS, Ingénieur, à Nanteuil le Haudoin (Oise).

* BRÉGUET (Antoine), ancien élève de l'École Polytechnique.

PELLAT, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 3, avenue de l'Observatoire.

DUFET, Professeur au Lycée Saint-Louis, 130, boulevard du Montparnasse.

RAYNAUD, Chef de bureau au Ministère des Postes et des Télégraphes, Répétiteur à l'École Polytechnique, 50, boulevard Saint-Germain.

LEBLANC, ancien Élève de l'École Polytechnique, 9, rue Taylor.

POINCARÉ, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 4, carrefour de l'Odéon.

PÉRARD (L.), Professeur à l'Université, 101, rue Saint-Esprit, Liège (Belgique).

* VAN DEN KERCHOVE, Sénateur, Gand (Belgique).

BAILLE, Répétiteur à l'École Polytechnique, 26, rue Oberkampf.

MM. Carpentier, ancien élève de l'École Polytechnique, constructeur d'instruments de physique, 34, rue du Luxembourg.

Romilly (de), 8, rue de Madrid.

Roger, ancien Chef d'institution, 161, rue Saint-Jacques.

Brillouin, Professeur à la Faculté des Sciences de Toulouse.

Abria, professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

Dollfus (Eugène), Chimiste fabricant d'indiennes, 32, rue d'Altkirch, à Mulhouse.

Ogier (Jules), Docteur ès Sciences, Chef du laboratoire de Toxicologie, 6, rue de Beaune.

Gotendorf (Silvanus), 39, rue de Clichy.

Duclaux, Professeur à l'Institut agronomique, 15, rue Malebranche.

Kœchlin (Horace), Chimiste, fabricant d'indiennes, à Lœrrach (Baden).

Brewer (fils), Constructeur d'instruments pour les Sciences, 43, rue Saint-André-des-Arts.

Le Cordier (Paul), Docteur ès Sciences, Professeur à l'École supérieure des Sciences d'Alger.

Vaschy, Sous-Ingénieur des télégraphes, répétiteur à l'École Polytechnique, 68, avenue Bosquet.

Palmade, Professeur au lycée de Saint-Etienne.

Godefroy (l'abbé), Professeur de Physique à l'Institution catholique, 175, rue de Vaugirard.

Gouloubitzky, Collaborateur de la Société des amis des Sciences de Moscou, à Kalouga Faroussa (Russie).

Lemoine (E.), Ancien élève de l'École Polytechnique, 5, rue Littré.

Foussereau, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 56, boulevard de Port-Royal.

Rigout, Préparateur de Chimie à l'École Nationale des Mines.

Seligmann-Lui, Sous-Inspecteur des Télégraphes, 103, rue de Grenelle.

Cornu, Membre de l'Institut, 9, rue de Grenelle.

Gerboz (P.-C.), Constructeur d'instruments de précision, 52, rue des Écoles.

Bandsept, Ingénieur, 15, chaussée de Wavre, à Bruxelles.

Brisse (Ch.), Répétiteur à l'École Polytechnique, 55, rue de Bécon, à Courbevoie (Seine).

Vautier (Théodore), Chargé des Conférences de Physique à la Faculté des Sciences, 30, quai Saint-Antoine, à Lyon.

Jénot, Professeur au Collège Rollin, 12, rue Constance.

Godard (Léon), Agrégé-Préparateur à la Faculté des Sciences, 46, rue des Écoles.

Wallon (E.), Professeur au Lycée Janson de Sailly, 24, rue de Saint-Pétersbourg.

Pupin, Secrétaire de la Faculté de Médecine de Paris.

MM. Weiss, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Préparateur de Physique à la Faculté de Médecine, 73, boulevard Saint-Michel.

Lemström (Selim), Professeur de Physique à l'Université de Helsingfors (Finlande).

Bouty, Professeur à la Faculté des Sciences, 9, rue du Val-de-Grâce.

Sebert, Colonel d'Artillerie de Marine, Laboratoire Central de la Marine, 13, rue de la Cerisaie.

Masson (G.), Libraire-Editeur, 120, boulevard Saint-Germain.

Mallard, Ingénieur en Chef des Mines, Professeur de Minéralogie à l'Ecole des Mines, 11, rue de Médicis.

Boitel, Agrégé de l'Université, Professeur d'Electricité à l'Observatoire de Montsouris, 3, rue Soufflot.

Dybowski, Professeur au Lycée Charlemagne, 16, rue Rottembourg, (Bel-Air).

Leduc, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 136, rue d'Assas.

Raymond, Elève-Ingénieur de la Marine, 29, quai de la Tournelle.

Sainte-Claire Deville (Emile), Ingénieur à la Compagnie du gaz, 85, avenue de Villers.

Touanne (de la), Ingénieur des Télégraphes, 13, rue Soufflot.

Violle, Maître de Conférences à l'Ecole Normale supérieure, 89, boulevard Saint-Michel.

Meslin, Professeur au Lycée de Poitiers, 28, Place d'Armes.

Lyon (Gustave), Ancien élève de l'École Polytechnique, Ingénieur civil des Mines, 24 *bis*, rue Rochechouart.

* Jennesson, Ancien Principal à Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle).

Vandenbroucque, Professeur à l'Institution libre à Marcq-en-Barœul, (Nord).

Mathias (Émile), Agrégé-préparateur à la Faculté des Sciences, 75, rue Saint-Honoré.

Laurent (Léon), Constructeur d'instruments de physique, 21, rue de l'Odéon.

Pavlidès (Démosthènes), 19, avenue du Trocadéro.

Defforges (G.), Capitaine au 16e régiment de ligne, détaché à l'État-Major général du Ministère de la Guerre, 123, rue de Grenelle.

LISTE DES MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ.

MM.

ABBADIE (d'), Membre de l'Institut, 120, rue du Bac.

ABDANK-ABAKANOWICZ, Ingénieur, 5, place du Panthéon.

ABOILARD (Louis), Constructeur de lampes à incandescence, 76, avenue de Villiers.

ABRIA, Membre correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 15, quai Bacalan, à Bordeaux.

ALEXANDRE (Henri), Ingén. des Arts et Manufactures, 53, rue Aumaire.

ALEXÉEFF, Vice-Président de la Section d'Électricité de la Société impériale polytechnique de Russie, à Saint-Pétersbourg (Russie).

ALEXIS (Ferdinand-Marius), Contrôleur du Service technique des télégraphes à Marseille.

ALLUARD, Correspondant de l'Institut, Professeur honoraire à la Faculté des Sciences, 22 *bis*, place de Jaude, Clermont-Ferrand.

ALVERGNIAT, Constructeur d'instruments de Physique, 10, rue de la Sorbonne.

AMAGAT, Professeur à la Faculté Catholique des Sciences, 25, rue du Plat, à Lyon.

ANDRÉ (Ch.), Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon.

ANGOT, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 6, rue Cassette.

ANTHONISSEN (Joseph), 21, rue Hauteville.

ARCHAMBAULT (J.), Professeur en retraite, 9, boulevard du Temple.

ARMAGNAT, Ingénieur, 20, rue Delambre.

ARNOYE, Professeur au Lycée de Montauban.

ARRAGON, Professeur au Lycée de la Guadeloupe.

ARSONVAL (d'), Directeur du Laboratoire de Physique biologique au Collège de France, 28, avenue de l'Observatoire.

ARTHAUD, Chef des travaux histologiques au Laboratoire de Physiologie générale du Muséum, 24, rue Monge.

AUBERT, Professeur au Lycée Condorcet, 22, rue Truffaut.

AUBRY, Directeur-Ingénieur des télégraphes, en retraite, 8, rue de Lorraine, à Nancy.

AUGUEZ (Émile), Sous-Directeur des contributions indirectes, 16, rue de Mouy, à Clermont (Oise).

AYLMER (John), Ingénieur, 4, rue de Naples.

AYMONNET, Professeur de Physique, 38, boulevard d'Italie.

BABLON, 42, rue Boulard.

BAGNERIS (Eugène), Professeur agrégé de Physique de la Faculté de Médecine, 25, rue Baron Louis, à Nancy.

MM.

BAILLAUD, Directeur de l'Observatoire de Toulouse.
BAILLE, Répétiteur à l'École Polytechnique, 26, rue Oberkampf.
BAILLY, Professeur au Lycée de Carcassonne.
BANDSEPT, Ingénieur, 15, chaussée de Wavre, à Bruxelles.
BANET-RIVET, Professeur au Lycée de Marseille.
BARBIER, Ingénieur-chimiste, 9, rue Fromentin.
BARBIER (Paul), Ingénieur, 5, place du Panthéon.
BARDY, Directeur du laboratoire central de l'Administration des Contributions indirectes, 26, rue du Général-Foy.
BARON, Directeur au Ministère des Postes et Télégraphes, 64, rue Madame.
BARRAUD (Ph.), Docteur en Médecine, 23, rue de Fleurus.
BATCHELOR (Charles), Administrateur de la Compagnie Edison.
BAUDOT, Inspecteur-Ingénieur des lignes télégraphiques, 53, rue de Rennes.
BEAU (Henri), ancien Élève de l'École Polytechnique, 226, rue Saint-Denis.
BÉCORDEL (H. de), Receveur principal à Saint-Amand (Cher).
BECQUEREL (Ed.), Membre de l'Institut, au Muséum, 57, rue Cuvier.
BECQUEREL (Henri), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Répétiteur à l'École Polytechnique, 57, rue Cuvier.
BÉDOREZ, Directeur des Études à l'École Monge, 145, boulevard Malesherbes.
BEDOS, Professeur au Lycée, 31, rue de la République, à Carcassonne.
BEGHIN (Auguste), Professeur à l'École nationale des Arts industriels, 18, rue Latine, à Roubaix.
BELL (Alexander Graham), 95, Milk Street, Boston, Mass. U. S. A.
BELLATI (Manfredo), Professeur de Physique technique à l'École des Ingénieurs, à l'Université de Padoue (Italie).
BELLOT (Jules), 28, rue Saint-Lazare.
BENAVENTE Y MONTALVO (Antonio), Ancien professeur de Physique au Collège de Rioseco, Directeur du Collège de Villada, Province de Valentia (Espagne).
BENAVIDES (Francisco da Fonseca), Professeur à l'Institut industriel de Lisbonne (Portugal).
BENOIT (René), Docteur ès sciences, premier adjoint au Bureau international des Poids et Mesures, au pavillon de Breteuil, Sèvres.
BERGER (Georges), Directeur général de l'exploitation de l'Exposition universelle de 1889, 8, rue Legendre.
BERGERON, Ingénieur, 75, rue Saint-Lazare.
BERGON, Ancien Directeur au Ministère des Postes et des Télégraphes, 56, rue Madame.
BERGONIÉ, Agrégé, Maître de Conférences de Physique, à la Faculté de Médecine, 29, rue de Persac, à Bordeaux.
BERNARD (Alfred), Professeur au Lycée de Périgueux.
BERSON, Professeur au Lycée Charlemagne, 32, rue Monge.
BERTHELOT, Sénateur, Membre de l'Institut, Ministre de l'Instruction publique et des Beaux-Arts, 3, rue Mazarine.

MM.

BERTHOLOMEY, Professeur au Collège, 26, quai Baluze, à Tulle.

BERTRAND (J.), Membre de l'Académie française, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, 4, rue de Tournon.

BERTRAND (A.-L.), Capitaine du Génie attaché à la Section technique du Génie au Ministère de la Guerre, 8, rue Saint-Dominique.

BESANÇON (M.-J.), Répétiteur à l'École Turgot, 152, boulevard Voltaire.

BESOMBES (Noël), Ingénieur des télégraphes, 2, place Saint-Michel, à Marseille.

BESSON (Léon), Ancien Officier de Marine, 4, rue des Martyrs.

BEZODIS, Professeur au Lycée Henri IV, 61, rue Claude-Bernard.

BIBLIOTHÈQUE ROYALE DE BERLIN.

BICHAT, Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy, 1 *bis*, rue des Jardiniers.

BIENAYMÉ, Ingénieur en chef de la marine à Toulon.

BILLON-DAGUERRE (Armand Di), 123, boulevard Saint-Michel.

BISCHOFFSHEIM (Raphaël-Louis), Député, 3, rue Taitbout.

BLONAY (Roger de), 23, rue Larochefoucauld.

BLONDLOT, Maître de conférences à la Faculté des Sciences de Nancy.

BOBILEFF, Professeur de Mécanique à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

BOITEL, Agrégé de l'Université, Professeur d'électricité à l'Observatoire de Montsouris, 3, rue Soufflot.

BONAVITA, Professeur au Lycée de Bastia.

BONIOL, Professeur de Mathématiques, 123, rue de la Pompe.

BONTEMS (Emile), Lieutenant-Trésorier au 12e chasseurs, à Lyon.

BONVALOT, Ingénieur, 1, place Saint-Jean, à Dijon.

BORDET (Lucien), ancien Élève de l'École Polytechnique, Inspecteur des Finances, 181, boulevard Saint-Germain.

BOREL, Docteur en Médecine, à Puy Saint-Martin (Drôme).

BORGMANN, Privat-docent à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

BOUANT, Professeur au Lycée Charlemagne, 20, rue Monsieur-le-Prince.

BOUCHARD, Sous-Ingénieur des Télégraphes, 19, quai d'Orléans, à Rennes.

BOUCHER, Préfet des Études au Collège Chaptal, 45, boulevard des Batignolles.

BOUDET DE PÂRIS (le Dr M.), ancien Interne des hôpitaux, 4, rue de l'Isly.

BOUDRÉAUX, Conservateur des collections de Physique à l'École Polytechnique, 2, rue Descartes.

BOULANGER, Capitaine du Génie, Attaché au Dépôt des fortifications, 8, rue Saint-Dominique.

BOULARD, Ingénieur, 13, rue Vavin.

BOURBOUZE, Chef des travaux de Physique à l'École supérieure de Pharmacie, 340, rue Saint-Jacques.

BOURGEOIS, Répétiteur à l'École Polytechnique, 23, quai de la Tournelle.

BOURGET, Recteur de l'Académie de Clermont.

BOURRUT-DUVIVIER, 89, rue de Ham, à Brest.

BOUSQUET, Directeur de l'École normale d'Agen.

BOUTAN, Inspecteur général de l'Instruction publique, 4, rue de l'Odéon.

MM.

BOUTET DE MONVEL, Professeur en retraite, 1, rue des Deux-Portes-Saint-Jean.

BOUTY, Professeur à la Faculté des Sciences, 9, rue du Val-de-Grâce.

BRACHET, Ingénieur, 2, rue d'Égypte, à Lyon.

BRANLY, Professeur à l'Ecole libre des hautes études scientifiques et littéraires, 42, avenue de Breteuil.

BRANVILLE (de), Ingénieur civil, constructeur d'appareils électriques, 15, rue de la Montagne-Sainte-Geneviève.

BREWER (William J.), Constructeur d'instruments pour les sciences, 43, rue Saint-André-des-Arts.

BRIEU (Georges), Professeur à l'École Normale de Périgueux.

BRILLOUIN, Maître de Conférences à l'École Normale supérieure, 11 *bis*, rue Laplanche.

BRISAC, Ingénieur de l'éclairage à la Compagnie Parisienne du gaz, 7, Cité Malesherbes.

BRISSE, Répétiteur à l'École Polytechnique, 55, rue de Bécon, à Courbevoie.

BROCH (O.-J.), Professeur à l'Université de Christiania (Norwège), au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

BROWNE (H.-V.), Représentant de la compagnie Direct Spanish Telegraph, à Barcelone (Espagne).

BRUNHES, Professeur à la Faculté des Sciences de Dijon.

BRÜNNER, Constructeur d'instruments de précision, 159, rue de Vaugirard.

BUCHIN, 11, rue Rolland, à Bordeaux.

BUGUET, Professeur au Lycée de Moulins.

BUISSON (Maxime), Chimiste, rue Saint-Thomas, à Évreux.

CABANELLAS (G.), Ingénieur, à Nanteuil-le-Haudoin.

CADIAT, Ingénieur, 24, rue Meslay.

CAEL, Directeur-Ingénieur des Télégraphes, 31, rue Saint-Guillaume.

CAILLETET, Membre de l'Institut, à Châtillon-sur-Seine, et 75, boulevard Saint-Michel.

CAILLOL DE PONCY, Professeur à l'École de Médecine, 8, rue Clapier, à Marseille.

CALMETTES, Professeur au prytanée militaire de la Flèche.

CARAGUEL, Avocat, Directeur du Crédit foncier de France, à Albi, 4, rue Nego-Danos.

CARPENTIER, ancien Élève de l'École Polytechnique, constructeur d'instruments de physique, 34, rue du Luxembourg.

CASALONGA, Ingénieur civil, 15, rue des Halles.

CASPARI, Ingénieur hydrographe de la Marine, 28, rue Gay-Lussac.

CAVAILLÉ-COLL, Facteur d'orgues, 15, avenue du Maine.

CAVÉ, Propriétaire au Château de Notz-Marafin, par Mézières en Brenne (Indre).

CAZES, Préparateur de Physique au Lycée Saint-Louis.

MM.

CHABERT (**Léon**), Ingénieur électricien, 2, rue de Lisbonne.

CHABRERIE, Principal du Collège de Treignac (Corrèze).

CHAMAND (**Joseph**), capitaine adjudant-major au 32e rég. d'infanterie, 78, rue Colbert, à Tours.

CHAMANTOFF (**Nicolas**), Préparateur au cabinet de Physique de l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

CHAMBERT (**Paul**), rue de la Manufacture, à Châteauroux.

CHAPERON (**Georges**), ancien élève de l'Ecole Polytechnique, 28, quai de la Guillotière, à Lyon.

CHAPPUIS, Professeur à l'École centrale, 7, rue Laplanche.

CHAPPUIS (**Pierre**), attaché au Bureau International des Poids et Mesures au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

CHAPUY (**Paul**), Élève Ingénieur des Mines, à l'École Nationale des Mines.

CHARDONNET (**le comte de**), ancien Élève de l'École Polytechnique, 20, place de l'État-Major, à Besançon.

CHAUSSEGROS, Ingénieur, chef de traction au chemin de fer, à Orléans.

CHAUTARD, Doyen de la Faculté libre des Sciences de Lille.

CHAUVEAU, Professeur de Physique, 5, rue Corneille.

CHAVES (**Antonio Ribeiro**), 116, rua do Ouvidor, à Rio de Janeiro (Brésil).

CHERVET, Professeur au Lycée Henri IV, 18, rue Nicole.

CHRÉTIEN, Chef de fabrication à la manufacture de caoutchouc de Chamalière (Puy-de-Dôme).

CIVIALE (**A.**), 2, rue de la Tour-des-Dames.

CLAVEAU, Professeur au Lycée de Montluçon.

CLAVERIE, Professeur au Lycée de Vanves, 6, rue Poussin, à Auteuil.

COLARDEAU, Professeur au Lycée de Lille.

COLNET D'HUART (**de**), Directeur de l'Athénée à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

COLNET D'HUART (**François de**), Docteur ès Sciences, Professeur à l'Athénée de Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

COLSON, Capitaine du Génie, 66, rue de la Pompe.

COMBES (**A.**), Ancien élève de l'École Polytechnique, 6, rue du Val-de-Grâce.

COMBETTE, Professeur au Lycée Saint-Louis, 63, rue Claude-Bernard.

CORVISY, Professeur au Lycée, 2, rue du Poirier, à Saint-Omer.

CORNU, Membre de l'Institut, 9, rue de Grenelle.

COULIER, Membre du Comité de Santé des armées, 26, rue Gay-Lussac.

COUPIER, à Saint-Denis-Hors, par Amboise.

COURQUIN (**l'abbé**), Professeur à l'Institution libre du Sacré-Cœur à Tourcoing.

COURTOY, Professeur à l'École vétérinaire, 47, rue Bara, à Bruxelles.

COUSTÉ, ancien Directeur de la Manufacture des Tabacs, 9, boulevard de l'Odet, à Quimper, et 5, Place Saint-François-Xavier.

COUVREUX, Juge au Tribunal de Châtillon-sur-Seine.

CROIX, Professeur au Collège, 36 *bis*, rue de Valenciennes, à Saint-Amand-les-Eaux (Nord).

MM.

CROS (**Ch.**), 9, rue Christine.

CROVA, Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 14, rue du Carré-du-Roi, Montpellier.

CUÉNOD, Ingénieur électricien, 10, rue Voltaire, à Genève.

CURIE (**Pierre**), Préparateur à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris, 5, avenue de Sceaux, à Fontenay-aux-Roses.

CUSCO (le Dr), chirurgien à l'Hôtel-Dieu, 79, rue des Petits-Champs.

DAGUENET, Professeur au Lycée, 8, rue Montbauron, à Versailles.

DALMAU, Ingénieur, 9, Rambla del Centro, à Barcelone (Espagne).

DALY, Docteur en médecine, à Angoulême.

DAMBIER, Professeur au Collège Stanislas, 151, rue de Rennes.

DAMIEN, Professeur à la Faculté des Sciences, à Lille, 49, rue Brûle-Maison.

DANIEL, ancien Professeur à l'École Centrale, à Saint-Mâlo-de-Lalande (Manche).

DAVID (**André**), rue Buisson, à Saint-Étienne.

DEBRAY, Membre de l'Institut, 16, rue Vauquelin.

DEDET, Professeur au Lycée d'Albi.

DEFFORGES (**G.**), Capitaine au 16e régiment de ligne, détaché à l'État-Major général du Ministère de la Guerre, 123, rue de Grenelle.

DELATTRE (**André**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 20, rue Saint-Georges.

DELAURIER, Ingénieur, 77, rue Daguerre.

DELEUIL, Constructeur d'instruments de Physique, 42, rue des Fourneaux.

DELEVEAU, Professeur au Lycée, 39, rue de Lodi, à Marseille.

DEMERLIAC, Professeur au Lycée de Tourcoing.

DEMICHEL, Constructeur d'instruments pour les Sciences, 24, rue Pavée-au-Marais.

DEPREZ (**Marcel**), Membre de l'Institut, 111, rue de Rennes.

DESCHIENS, Constructeur d'instruments de Physique, 123, boulevard St-Michel.

DESEILLIGNY (**l'abbé**), à l'Archevêché de Rouen.

DESEILLIGNY (**Jules**), au 28e régiment d'infanterie, caserne Saint-Vivien, à Rouen.

DESLANDES, ancien Officier de marine, 20, rue Larochefoucauld.

DESLANDRES, ancien Élève de l'École Polytechnique, 43, rue de Rennes.

DESPLATS, Professeur Agrégé de la Faculté de Médecine, 221, faubourg Saint-Honoré.

DESPRATS, Principal du Collège de Villefranche-sur-Saône (Rhône).

DEVAUX, Professeur au Lycée de Grenoble.

D'HENRY (**Louis**), 6, boulevard de Port-Royal.

DIDIER (**P.**), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 9, rue de l'Abbé-de-l'Épée.

DIETRICH (**Ch.**), Dessinateur et graveur, 3, rue Hautefeuille.

DINI, Ingénieur de la Maison Dumoulin-Froment, 49, rue Saint-Placide.

DOLLFUS (**Eugène**), Chimiste, fabricant d'indiennes, 32, rue d'Altkirch, à Mulhouse (Alsace).

MM.

DOUCEUR, Directeur des postes et télégraphes, retraité, 42, rue Jouffroy.

DOULIOT, Principal du Collège d'Épinal.

DRINCOURT, Professeur au Collège Rollin, 5, rue de Laval.

DUBOIS, Professeur au Lycée, 31, rue Cosette, à Amiens.

DUBOSCQ (Albert), Constructeur d'instruments de Physique, 11, rue des Fossés-Saint-Jacques.

DUBOSCQ (Théodore), Constructeur d'instruments de Physique, 11, rue des Fossés-Saint-Jacques.

DUCHEMIN, Ingénieur, 25, rue Clapeyron.

DUCLAUX, Professeur à l'Institut agronomique, 15, rue Malebranche.

DUCLOS, Inspecteur primaire à Muret.

DUCOMET, Ingénieur, 20, rue des Petits-Hôtels.

DUCRETET, Constructeur d'instruments de Physique, 75, rue Claude-Bernard.

DUFET, Professeur au Lycée Saint-Louis, 130, boulevard Montparnasse.

DUFOUR (Henri), Professeur de Physique à la Faculté des Sciences, 22, rue Maupas, à Lausanne (Suisse).

DUHEM, Agrégé-préparateur à l'École Normale supérieure, 45, rue d'Ulm.

DUJARDIN, 89, boulevard du Montparnasse.

DUMARTIN (Horace), Ingénieur civil, 28, rue d'Argivillers, à Versailles.

DUMOULIN-FROMENT, Constructeur d'instruments de précision, 85, rue Notre-Dame-des-Champs.

DUPRÉ, Inspecteur de l'Académie de Paris, 60, rue des Tournelles.

DUPUY, Ingénieur, 17, rue Condorcet, à Lisieux.

DUSSY, Professeur au Lycée, 14, rue Berbisey, à Dijon.

DUTER, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 16, rue Bertin Poiré, Paris.

DYBOWSKI, Professeur au Lycée Charlemagne, 16, rue Rottembourg.

EBEL, Ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur de la Cie Edison, 14, rue du Treuil, à Saint-Etienne.

EDELBERG, Ingénieur opticien, à Kharkoff (Russie).

EDLUND, Professeur de Physique à l'Académie royale des Sciences de Stockholm (Suède).

EGOROFF (Nicolas), Professeur de physique à l'Académie de Médecine de Saint-Pétersbourg (Russie).

EICHTHAL (baron **d'**), 42, rue Neuve-des-Mathurins.

ÉLIE, Professeur au Collège, 90, rue de la Pointe, à Abbeville.

ESTRADA (Francisco), Recteur de l'Institut de San-Luis de Potosi (Mexique).

ÉTARD (Alexandre), 49, boulevard Voltaire.

FARGUES DE TASCHEREAU, Professeur au Lycée Condorcet, 30, rue des Aubépines, à Bois-Colombes.

FAURE (Camille A.), Ingénieur, The electrical accumulator C°, Lister avenue, Newark, New Jersey (U. S. A).

FAVÉ, Ingénieur hydrographe, 83, rue de l'Université.

MM.

FAVARGER, Ingénieur électricien, à Neuchâtel (Suisse).

FAYE, Membre de l'Institut, 2, boulevard d'Enfer.

FERNET, Inspecteur général de l'Instruction publique, 9, rue de Médicis.

FERRAY (Édouard), Pharmacien, rue du Grand-Carrefour, à Evreux.

FERRO CARDOSO (Daniel Pedro), Ingénieur, 123, boulevard Saint-Germain.

FINK, Préparateur à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la ville de Paris, 42, rue Lhomond.

FIZEAU, Membre de l'Institut, 3, rue de la Vieille-Estrapade.

FLAMARY, Professeur à l'École Normale de Châteauroux.

FONTAINE (Hippolyte), 22, rue Notre-Dame-de-Lorette.

FONTAINE, Chimiste, 20, rue Monsieur-le-Prince.

FOURNIER (le Dr **Alban**), à Rambervillers (Vosges).

FOURTEAU, Proviseur du Lycée de Saint-Etienne.

FOUSSEREAU, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 56, boulevard de Port-Royal.

FRICKER (le **Dr**), 39, rue Pigalle.

FRIDBLATT (A.), Sous-Ingénieur des télégraphes, à Alger.

FRIEDEL, Membre de l'Institut, 9, rue Michelet.

FRON, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 41, rue Madame.

GAIFFE, Constructeur d'instruments de Physique, 40, rue Saint-André-des-Arts.

GARBAN, Inspecteur d'Académie, à Limoges.

GARBE, Professeur à la Faculté des Sciences de Poitiers.

GARÉ (l'Abbé), Professeur à l'École Saint-Sigisbert, à Nancy.

GARIEL (C.-M.), Membre de l'Académie de Médecine, Professeur à la Faculté de Médecine, 39, rue Jouffroy.

GARNUCHOT, Professeur au Collège, rue Saint-Barthélemy, à Melun.

GAUBERT, Horloger-Électricien, à Gruissan (Aude).

GAUTHIER-VILLARS, Libraire-Éditeur, ancien Élève de l'École Polytechnique, 55, quai des Grands-Augustins.

GAVARRET, Inspecteur général de l'enseignement supérieur, 73, rue de Grenelle.

GAY, Professeur au Lycée, 36, rue de la Gare, à Lille.

GAY, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 6, rue Mézières.

GAYON, Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de la Station agronomique, 56, rue de la Benauge, à La Bastide-Bordeaux.

GENDRON (Rudolph), Préparateur à l'École libre des hautes études scientifiques et littéraires, 12, rue Campagne-Première.

GÉRARD (Anatole), Ingénieur mécanicien, 39, avenue Marceau, à Courbevoie.

GÉRARD (Éric), Professeur à l'Institut électrotechnique de Montefiore, à Liège.

GERBOZ (P. C.), Constructeur d'instruments de précision, 52, rue des Écoles.

GERNEZ, Maître de conférences à l'École Normale supérieure, 17, rue Médicis.

GHESQUIER (l'Abbé), Professeur au Collège, 76, rue du Collège, à Roubaix.

MM.

GILLET DE GRANDMONT (**Dr**), Secrétaire général de la Société de médecine pratique, 4, rue Halévy.

GIRARDET, Professeur au Lycée Saint-Louis, 90, rue Claude-Bernard.

GIRAUD, Ingénieur mécanicien, 18, rue de Paris, à Clichy.

GIRAULT, Professeur au Collège Chaptal, 8, rue Claude-Pouillet.

GIROUX, Ingénieur opticien, successeur de M. Roulot, 58, quai des Orfèvres.

GLASEWSKI (**P.-J.-Alexandre**), Commissionnaire en Instruments de Physique, 59, rue de la Butte-Chaumont.

GODARD (**Léon**), Agrégé-Préparateur à la Faculté des Sciences, 46, rue des Écoles.

GODFRIN, Professeur au Lycée de Valenciennes.

GODEFROY (l'Abbé **L.**), Professeur de Chimie, 175, rue de Vaugirard.

GODY (**G.**), Architecte du département des travaux publics, 15, rue du Viaduc, Bruxelles (Belgique).

GOLAZ, Constr. d'instruments de Physique, 282, rue Saint-Jacques.

GOLOUBITZKY (**Paul**), Collaborateur de la Société des Amis des Sciences de Moscou, à Kalouga Faroussa (Russie).

GOMEZ (**Francisco Lopez**), Professeur à l'Institut de Valladolid (Espagne).

GOSSART (**Fernand**), Docteur en droit, 15, rue Tronchet.

GOSSART, Professeur au Lycée, rue de l'Académie, à Caen.

GOSSE, Préparateur de Physique au Lycée Saint-Louis.

GOSSIN, Proviseur au Lycée de Lille.

GOTENDORF (**Silvanus**), 39, rue de Clichy.

GOULIER, Colonel du Génie, 6, rue d'Estrées.

GOURÉ DE VILLEMONTÉE, Professeur à l'École normale de Cluny.

GOUTY, Ingénieur, 51, Chemin du Roveray, à Genève (Suisse).

GOUY, Professeur suppléant à la Faculté des Sciences, 2, place des Squares, à Lyon.

GOVI, Sénateur, Professeur à l'Université de Naples, 5, via Nuova Pizzofalcone (Italie).

GOWER (**Frédérick-Allen**), Ingénieur, 44, rue François Ier.

GRAMMACINI (**J.**), Receveur-Chef du Poste central des télégraphes, à Paris, 103, rue de Grenelle.

GRAVIER (**Alfons**), Ingénieur, 7, rue Faraday.

GRAY (**Matthew**), Directeur de l'India-Rubber, Gutta-percha and Telegraph Works C°, 106, Cannon street, Londres.

GRAY (**Robert Kaye**), Ingénieur électricien de l'India-Rubber, Gutta-percha and Telegraph Works C°, Silwertown, Essex, à Londres.

GRÉHANT (**Dr**), Aide-naturaliste au Muséum d'Histoire naturelle, 18, rue Flatters.

GRELLEY, Directeur de l'École Supérieure du Commerce, 102, rue Amelot.

GRENIER (**Félix**), Préfet des Deux-Sèvres, à Niort.

GREZEL (**Louis**), Professeur de Physique à Nantua.

GRIPON, Professeur à la Faculté des Sciences, 5, faubourg de Paris, à Rennes.

MM.

GRIVEAUX, Professeur au Lycée, 16, rue Montbrillant, à Mont-Plaisir (Lyon).

GROGNOT (L.), Chimiste, Essayeur du Commerce, rue du Bourg, à Chantenay-sur-Loire (Maison Chopin) (Loire-Inférieure).

GROOT (le P. **L.-Th. de**), 11, rue des Récollets, à Louvain (Belgique).

GROSSETESTE (William), Ingénieur civil, 11, rue des Tanneurs, à Mulhouse.

GUEBHARD, Professeur Agrégé de Physique de la Faculté de Médecine, 15, rue Soufflot.

GUELPA, Principal du Collège de Blidah (Algérie).

GUERBY, Professeur au Collège, à Grasse (Alpes-Maritimes).

GUÈRIN (Émile), Fabricant d'appareils électriques, 5, rue Montmorency.

GUILLAUME, Docteur ès sciences attaché au Bureau international des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil (Sèvres).

GUILLEBON (de), Contrôleur de l'exploitation au chemin de fer d'Orléans, 5, rue du Bourg-Neuf, Orléans.

GUNTZ, Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy.

HAGENBACH, Professeur à l'Université de Bâle (Suisse).

HANRIOT, Professeur honoraire de Physique de la Faculté des Sciences de Lille, à Joppécourt (Meurthe-et-Moselle).

HARDY (Dr E.), Chef des travaux chimiques de l'Académie de Médecine, 90, rue de Rennes.

HAUCK (W.-J.), Constructeur d'instruments de Physique, 20, Kettenbrücken Gasse, à Vienne (Autriche).

HELOUIS, Ingénieur, 17, rue Reine-Henriette, à Colombes.

HENOCQUE (le Dr), 87, avenue de Villiers.

HEPITÈS (Stefan), Ingénieur, Directeur général du Ministère des Domaines à Bucarest (Roumanie).

HESEHUS (N.), Privat-docent à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

HILLAIRET (André), Ingénieur des Arts et Manufactures, 9, rue Roquépine.

HOSPITALIER, Ingénieur des arts et manufactures, 6, rue du Bellay.

HOSTEIN, Professeur au Lycée, 37, rue Isabey, Nancy.

HUDELOT, Répétiteur à l'École Centrale, 6, rue Saint-Louis en l'Ile.

HUGO (le Comte **Léopold**), 14, rue des Saints-Pères.

HUGON, Ingénieur, 77, rue de Rennes.

HUGUENY, Prof. honoraire de Faculté, 19, rue des Frères, à Strasbourg.

HURION, Professeur à la Faculté des Sciences, 65, rue Blattin, Clermont-Ferrand.

HUSSON (Léon), Contrôleur du Câble télégraphique à Haïphong (Tonkin).

IMBERT (Armand), Professeur agrégé de Physique à la Faculté de Médecine de Montpellier.

INFREVILLE (G. d'), Électricien de la Western Union Telegraph C°, 408 West, 43rd street, à New-York (États-Unis).

MM.

ISAMBERT, Professeur à la Faculté des Sciences, boulevard de la Préfecture, à Poitiers.

IVANOFF (**Basile**), Licencié ès sciences (maison Ivanoff, à Simpheropol (Russie).

JABLOCHKOFF, Ingénieur, 21, rue Parmentier, à Neuilly-sur-Seine.

JANNETTAZ (**Ed.**), Maître de conférences à la Faculté des Sciences, 9, rue Linné.

JANNIN, Professeur de Physique en retraite, 10, rue du Jardin national, à Albi.

JANSSEN, Membre de l'Institut, Directeur de l'Observatoire d'Astronomie physique, à Meudon.

JARRE, 2, rue des Pyramides.

JAVAL, Député, Directeur du Laboratoire d'Optalmologie de la Sorbonne, 58, rue de Grenelle.

JÉNOT, Professeur au Collège Rollin, 12, rue Constance.

JEUNET, Professeur au Lycée d'Angoulême.

JOLY, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 72, rue Claude-Bernard.

JOLY (**Léon**), Inspecteur du Crédit Foncier, Ferme de Pargny, près Château-Porcien (Ardennes).

JOUBERT, Professeur au Collège Rollin, 67, rue Violet.

JOUBIN, Agrégé-préparateur au Collège de France, 35, rue des Écoles.

JOULE (**J.-P.**), F. R. S., 13, Wardle Road, Sale, Manchester (Angleterre).

JUNGFLEISCH, Professeur à l'École supérieure de Pharmacie, 38, rue des Écoles.

JUSSIEU (**F. de**), Imprimeur-Directeur du journal *l'Autunois*, à Autun.

KAREIS, Professeur de Physique, à Vienne (Autriche).

KERANGUÉ (**Yves de**), Capitaine adjudant-major au 23e bataillon de chasseurs à pied, à Limoges.

KŒCHLIN (**Horace**), Chimiste, fabricant d'indiennes, à Lœrrach (Baden).

KŒNIG, Constructeur d'instruments d'Acoustique, 27, quai d'Anjou.

KOTCHOUBEY, Président de la Société Impériale Polytechnique, à Saint-Pétersbourg (Russie).

KOWALSKI, Prof. à l'École supérieure du Commerce et de l'Industrie, 14, rue Ravez, à Bordeaux.

KRETZ, Ingénieur des Manufactures de l'État, 66, rue de Rennes.

KROUCHKOLL, Licencié ès Sciences, 17, faubourg Saint-Jacques.

LACOINE (**Émile**), Ingénieur-Électricien, à Constantinople (Turquie).

LAFOREST (Comte **de**), Colonel du 6e de ligne, à Saintes.

LALANCE (l'Abbé), Curé de Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle).

LALANDE, Libraire, à Brives.

MM.

LALANDE (**de**), Ingénieur civil des Mines, ancien élève de l'École Polytechnique, 87, rue de Rennes.

LALEU, Conducteur des Ponts et Chaussées, 12, rue de Ponthierry, à Melun.

LAMANSKY, Professeur à l'Université, à Saint-Pétersbourg (Russie).

LAMON, Constructeur d'instruments de Physique, 4, rue Rothschild, à Genève (Suisse).

LAMY (**Gaspard**), 52, Grande-Rue, à Issy-sur-Seine.

LANGLADE, Ingénieur civil, 22, rue Saint-Augustin.

LARNAUDE, Ingénieur des Arts et Manufactures, à Aulnay par Maule (Seine-et-Oise).

LAROCHE, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 110, avenue de Wagram.

LAROCQUE, Directeur de l'École des Sciences, à Nantes.

LATCHINOW, Professeur à l'Institut du corps forestier, à Saint-Pétersbourg (Russie).

LAURENT (**Léon**), Constructeur d'instruments de Physique, 21, rue de l'Odéon.

LAVIÉVILLE, Professeur au Lycée Condorcet, 56, rue de Lisbonne.

LAW (**Arthur B.**), 49 ter, allées d'Amour, à Bordeaux.

LAWTON (**George Fleetwood**), Ingénieur-Directeur de l'Eastern Telegraph C°, 2, boulevard du Muy, à Marseille.

LEBLANC, ancien élève de l'École Polytechnique, 132, boulevard Magenta.

LEBOSSÉ (l'Abbé), Professeur de Physique au Collège Saint-Jean, 12, rue de Béthune, à Versailles.

LECHAT, Professeur en retraite, 30, rue Gay-Lussac.

LE CHATELIER (**Henry**), Ingénieur des Mines, professeur de Chimie générale à l'École des Mines, 73, rue Notre-Dame-des-Champs.

LE CHATELIER (**André**), Ingénieur des constructions navales, à Toulon.

LE CHATONNIER, Préparateur de Physique au Lycée Condorcet.

LECOQ DE BOISBAUDRAN (**François**), Correspondant de l'Institut, à Cognac, et 36, rue de Prony.

LE CORDIER (**Paul**), Docteur ès sciences, Professeur à l'École supérieure des Sciences d'Alger, 15, rue de Tanger, Alger.

LEDEBOER, Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences de Paris.

LE DOLLEY, Contrôleur des Télégraphes, 15, rue Terme, à Lyon. Central.

LEDUC, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 136, rue d'Assas.

LEFEBVRE, Capitaine au 95e d'infanterie, à Bourges.

LEFEBVRE, Professeur au Lycée de Versailles, 18, rue Montbauron.

LEFEBVRE (**Victor**), Constructeur d'instruments pour les Sciences, 70, avenue du Maine.

LELORIEUX, Professeur au Lycée Lakanal, 110, boulevard Arago.

LEMOINE (**E.**), ancien élève de l'École Polytechnique, 5, rue Littré.

LEMOINE (**G.**), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 76, rue d'Assas.

LEMONNIER, Ancien élève de l'École Polytechnique, 26, avenue de Suffren.

LEMSTRÖM (**Selim**), Professeur de Physique à l'Université de Helsingfors (Finlande).

MM.

LEPERCQ (Gaston), Professeur de Chimie à la Faculté libre, 25, rue du Plat, à Lyon.

LERMANTOFF, Préparateur au Cabinet de Physique de l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

LE ROUX, Examinateur à l'École Polytechnique, 120, boulevard Montparnasse.

LEROY, Professeur au Lycée de Vanves, 4, rue de la Grande-Chaumière.

LEROY, Médecin-Major au 6e cuirassiers, à l'École Militaire.

LESAGE, Professeur au Lycée de Châteauroux.

LESCHI, Professeur au Collège de Corte.

LESPIAULT, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

LÉTANG (Paul), Préparateur à la Faculté des Sciences, 31, boulevard de Port-Royal.

LÉVY, Chef d'Institution, 20, rue Vauquelin.

LÉVY (Armand), Professeur au Lycée de Bordeaux, 226, rue Ste-Catherine.

LIBERT (J.-C.-D.), Professeur au Collège de Morlaix.

LIPPICH (Fr.), Professeur à l'Université de Prague (Autriche).

LIPPMANN, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 108, boulevard Saint-Germain.

LISLEFERME (de), Ingénieur en retraite, à Taillebourg (Charente-Inférieure).

LOIR, Directeur-Ingénieur des télégraphes, à Lyon.

LORRAIN (James-Grieves), Ingénieur civil, 1, Wardrobe Place Doctors Commons, London. E. C.

LOUGUININE, Officier supérieur de l'armée russe, 4, rue Mesnil.

LUCCHI (Dr Guglielmo de), Professeur de Physique au Lycée Royal Tito Livio, Padoue (Italie).

LUTZ, Constructeur d'instruments d'optique, 65, boulevard Saint-Germain.

LYON (Gustave), ancien élève de l'École Polytechnique, Ingénieur civil des Mines, 24 *bis*, rue Rochechouart.

MACÉ DE LÉPINAY, Professeur à la Faculté des Sciences, 105, boulevard Longchamps, à Marseille.

MACH (Dr E.), Professeur de Physique à l'Université de Prague (Autriche).

MADAMET, Directeur de l'École d'application du Génie maritime, 84, boulevard Saint-Michel.

MAGNE, Directeur-Ingénieur du contrôle des Postes et des Télégraphes, 34, avenue de Villiers.

MAICHE, Ingénieur électricien, 3, rue Louis-le-Grand.

MAIGRET (Dr), 44, avenue de la République, Grand-Montrouge.

MAISONOBE, Lieutenant au 6e régiment d'Artillerie, à Clermont-Ferrand.

MALLARD, Ingénieur en chef des Mines, professeur de Minéralogie à l'École des Mines, 11, rue de Médicis.

MALOSSE, Professeur agrégé à l'École de Médecine, 2, rue Marceau, à Montpellier.

MANEUVRIER, Agrégé de l'Université, attaché à l'École des Hautes Études, 54, rue Notre-Dame-des-Champs.

MM.

MAREY, Membre de l'Institut, 11, boulevard Delessert.

MARIA (**Emile**), Professeur à l'École Turgot, 12, rue de Longchamps.

MARIÉ-DAVY, Directeur honoraire de l'Observatoire météorologique de Montsouris, 21, rue Pierre-Guérin.

MARTIN (**Ch.**), rue de Bonneval, à Chartres.

MARTIN (**Joseph**), 41, rue du Colisée, à Visé (Belgique).

MARTINET, Professeur au Lycée Janson de Sailly, 5, rue de l'Amiral Courbet.

MASCART, Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France, Directeur du Bureau central météorologique, 60, rue de Grenelle.

MASSE, Professeur au Lycée de Toulon.

MASSIEU, Professeur à la Faculté des Sciences de Rennes.

MASSON (**G.**), Libraire-Éditeur, 120, boulevard Saint-Germain.

MATHIAS (**Émile**), Agrégé-Préparateur à la Faculté des Sciences, 75, rue Saint-Honoré.

MAUMENÉ, Professeur à la Faculté libre des Sciences de Lyon, et 91, avenue de Villiers.

MAUPEOU D'ABLEIGES (**de**), Ingénieur de la Marine, Membre du Conseil des travaux, 30, rue Vittal (Passy).

MAURAT, Professeur au Lycée Saint-Louis, 31, boulevard de Port-Royal.

MEAUX (**de**), Chef de Bureau au Ministère des Postes et des Télégraphes, 44, rue Saint-Placide.

MENDELSSOHN (**Maurice**), Docteur en Médecine, 21, rue de Marignan.

MÉNIER (**Henri**), 5, avenue Van-Dyck.

MERCADIER, Directeur des Études à l'École Polytechnique, 2, rue Descartes.

MERGIER, Préparateur des travaux pratiques de Physique à la Faculté de Médecine de Paris, 133, boulevard Saint-Michel.

MERLIN (**Paul**), Professeur au Lycée Condorcet, 7, rue de la Montagne Sainte-Geneviève.

MÉRITENS (**de**), Ingénieur, 73, rue Pigalle.

MERSANNE (**de**), Ingénieur-Électricien.

MESLIN, Professeur au Lycée de Poitiers, 28, place d'Armes.

MESTRE, ancien élève de l'École Polytechnique, Ingénieur au chemin de fer de l'Est, 132, rue Lafayette.

MEYLAN, Ingénieur, Secrétaire de la rédaction du Journal *La Lumière électrique*, 31, boulevard des Italiens.

MEYSENHEIM (**Louis-Maria**), Chef de Section des Chemins de fer au Ministère des Travaux publics, 4, avenue de la Gare, à Nanterre-sur-Seine.

MINARY, Ingénieur, 37, rue Battant, à Besançon.

MINGASSON, Professeur au Lycée de Vanves.

MINNE, Constructeur d'instruments de Physique, 75, rue de la Glacière.

MOITESSIER (**Albert**), Professeur à l'École de Médecine de Montpellier, Faubourg Boutonnet.

MOLTENI, Ingénieur-Constructeur, 44, rue du Château-d'Eau.

MOLZ, Ingénieur, 149, rue de Rennes.

MM.

MONDOS (**Robert**), Ingénieur, 89, rue Nollet.
MONTHIERS (Maurice), 135, boulevard Malesherbes.
MONOYER, Professeur à la Faculté de Médecine de Lyon.
MONTEFIORE (**Levi**), Ingénieur, Sénateur, Fondateur de l'Institut électro-technique à Liège.
MONTEIL (**Silvain**), Juge de Paix à Mercœur (Corrèze).
MORANA (**Ignace**), Électricien, 44, rue de Lausanne, à Genève.
MORELLE, Chef des travaux pratiques de la Physique à la Faculté de Médecine, 11, rue Caumartin, à Lille.
MORELLE, Constructeur-Mécanicien, 39, avenue d'Orléans.
MORRIS, Chef de Bureau au Ministère des Postes et des Télégraphes, 26, rue Martignac.
MORS, Ingénieur, fabricant d'appareils électriques, 8, avenue de l'Opéra.
MOSER (**Dr James**), Docent à l'Université, Schwarz Spanier St. 16, Vienne (Autriche).
MOUCHEZ (l'Amiral), Directeur de l'Observatoire de Paris.
MOUCHOT, Professeur en retraite, 39, rue de Fleury, à Fontainebleau.
MOUTIER, Examinateur de sortie à l'École Polytechnique, 13, rue Gay-Lussac.
MOUTON, Maître de conférences de Physique à la Sorbonne, 1, rue de l'Audience, à Fontenay-sous-Bois.
MUIRHEAD (Dr **Alexandre**) F. C. S., 5, Cowley Street, Westminster, S. W. Londres.
MUIRHEAD (**John**), Fabricant d'appareils électriques, à Londres, 29, Regency-Street, Westminster, Londres.

NACHET (**A**), Constructeur d'instruments d'optique, 17, rue Saint-Séverin.
NACHET (Jeune), Constructeur d'instruments d'optique, 21, rue Caumartin.
NAMBA MASSACHI, à l'Université, Dépt des Sciences, à Tokio (Japon).
NAPOLI (**David**), Inspecteur du matériel, chef du Laboratoire des Essais au chemin de fer de l'Est, 34 *ter*, rue de Dunkerque.
NERVILLE (**de**), Sous-Ingénieur des Télégraphes, 116, boulevard Haussmann.
NEUBURGER, Professeur au Lycée, 11, avenue du Vieux-Marché, à Orléans.
NEYRENEUF, Professeur à la Faculté des Sciences de Caen.
NOAILLON, Ingénieur civil, à la Chénée, près Liège (Belgique)
NODON (**Albert**), Ingénieur civil, 39, rue des Écoles.
NOË (**Charles**), Constructeur d'instruments pour les Sciences, 11, rue Laromiguière.
NOGUÈ (**Émile**), Attaché à la Maison Pellin-Duboscq, rue d'Assas, 138.
NOTHOMB (**Louis**), Professeur de télégraphie technique à l'École de Guerre, 91, avenue Louise, à Bruxelles.

ODINOT, Professeur au Collège, 1, rue de l'Hôtel-de-Ville, à Épinal.

MM.

OFFRET, Professeur au Lycée, 9, rue Martin-du-Nord, à Douai.

OFFRET, Agrégé-préparateur au Collège de France, 23, boulevard Saint-Germain.

OGIER (Jules), Docteur ès sciences, Chef du laboratoire de Toxicologie, 6, rue de Beaune.

OLIVIER (Louis), Docteur ès sciences, 90, rue de Rennes.

OLLIVIER (A.), Ingénieur civil, 51, boulevard Beaumarchais.

ONDE, Professeur au Lycée Henri IV, 41, rue Claude-Bernard.

ORDUÑA, Ingénieur, à Madrid (Espagne).

ORLÉANS (Comte **d'**), Colonel d'État-Major en retraite, 9, rue de Mailly.

PAILLARD-DUCLÉRÉ (Constant), Secrétaire d'Ambassade, 96, boulevard Haussmann.

PAILLOT, Chef des Travaux pratiques à la Faculté des Sciences de Lille.

PALAZ (Adrien), Dr ès Sciences, attaché au Bureau International des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

PALMADE, Professeur au Lycée de Saint-Etienne.

PALMADE, Capitaine du Génie, à l'École Polytechnique, 2, rue Descartes.

PANZANI (J.-P.), Professeur au Lycée Louis-le-Grand.

PARAYRE (l'abbé), Licencié ès Sciences physiques, 9, rue Vineuse.

PARENTHOU (Émile), Ingénieur, 20, rue des Grands-Augustins.

PARISSE, Ingénieur des Arts et Manufactures, 49, rue Fontaine-au-Roi.

PARMENTIER, 21, avenue de la Toison-d'Or, à Bruxelles (Belgique).

PASQUIER (Dr), rue Saint-Nicolas, à Evreux.

PASSOT (Dr), Aide-Major au 122e de ligne, à Montpellier.

PAUCHON (Ernest), Maître de conférences à la Faculté des Sciences, 49, rue Ecuyère, à Caen.

PAUL (Amédée), Directeur de l'Eastern Telegraph Co, à Bone (Algérie).

PAUMÈS, Docteur en Médecine, rue Pergaminien, à Toulouse.

PAVLIDÈS (Démosthènes), Étudiant en Médecine, 19, avenue du Trocadéro.

PAYN (John), Directeur de l'Eastern Telegraph Co, au Caire (Egypte).

PEDROSO (Carlos de).

PELLAT (H.), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 3, avenue de l'Observatoire.

PELLERIN, Professeur de Physique à l'École de Médecine de Nantes.

PELLIN (Philibert), Ingénieur des Arts et Manufactures, successeur de M. Jules Duboscq, 21, rue de l'Odéon.

PÉRARD (L.), Professeur à l'Université, 101, rue St-Esprit, à Liège (Belgique).

PÉRIGNON, 105, rue du Faubourg-Saint-Honoré.

PERNET, Professeur de Physique en retraite, faubourg de Paris, Maison de l'Arc, à Dôle.

PERNET (Dr **J.**), Gœbenstrasse, Berlin.

PÉROT, Dessinateur et Graveur, 117, boulevard de Créteil, à Saint-Maur-les-Fossés.

MM.

PERROT (**Paul**), Aide au Bureau international des Poids et Mesures, 191, boulevard Pereire.

PÉTROFF, Professeur à l'Institut Technologique de Saint-Pétersbourg (Russie).

PEUCHOT, Dessinateur et graveur, 10, rue de Nesles.

PHILBERT, Ancien receveur des télégraphes, 37, rue des Plantes, au Mans.

PHILIPPE, Professeur au Collège Sainte-Barbe, 21, rue Paradis.

PHILIPPON (**Paul**), Répétiteur au Laboratoire d'Enseignement de la Sorbonne, 166, boulevard Montparnasse.

PICOU, Ingénieur des arts et manufactures, à l'usine Edison, 5, rue du Parc, à Ivry-sur-Seine.

PILLEUX, 16, rue du Prévôt, à Beauvais.

PINEL (**Charles-Louis**), Ingénieur mécanicien, 26, rue Méridienne, à Rouen.

PIONCHON, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

PITANGA (**Epiphanio**), Professeur à l'École Polytechnique de Rio-Janeiro, 50, rua do Marquez d'Abrantes.

PLANTÉ (**Gaston**), 56, rue des Tournelles.

PLATZER (**H.**), Professeur de Mathématiques, 11, rue Miromesnil.

PLOIX (**Charles**), Ingénieur hydrographe de la Marine, 47, rue de Verneuil.

POINCARÉ, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 4, carrefour de l'Odéon.

POIRÉ, Professeur au Lycée Condorcet, 95, boulevard Malesherbes.

POLLARD (**Jules**), Ingénieur des constructions navales, professeur à l'École d'application du Génie maritime, 92, rue du Bac.

PONSELLE (**Georges**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 19, rue de Madrid.

POPP (**Victor**), Administrateur-directeur de la Compagnie des horloges pneumatiques, 6, rue Franche-Comté.

POTIER, Ingénieur en chef des mines, Professeur à l'École Polytechnique, 89, boulevard Saint-Michel.

POUSSIN (**Alexandre**), Ingénieur manufacturier, Château de Thuit-Hébert, par Bourgtheroulde (Eure).

PRÉAUBERT (**E.**), Professeur au Lycée, 13, rue Proust, à Angers.

PRÉSIDENT (le) de la Société de Physique de Londres.

PRÉSIDENT (le) de la Société de Physique de Saint-Pétersbourg.

PUJALET, Préparateur au Collège Rollin, 12, avenue Trudaine.

PUPIN, Secrétaire de la Faculté de Médecine de Paris.

PUYFONTAINE (Comte **de**), 34, avenue Friedland.

RADIGUET (**fils**), Opticien constructeur, 15, boulevard des Filles-du-Calvaire.

RAFFARD, Ingénieur, 16, rue Vivienne.

RAMEAU (**l'abbé**), Professeur de Physique à l'Institution Saint-Cyr, à Nevers.

RANQUE (**Paul**), Docteur en Médecine, 13, rue Champollion.

RAYET, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

RAYMOND, Ingénieur des constructions navales, à Lorient.

MM.

RAYNAUD, Chef de bureau au Ministère des Postes et des Télégraphes, Répétiteur à l'École Polytechnique, 50, boulevard Saint-Germain.

RECHNIEWSKI, Ingénieur, 5, place du Panthéon.

RECOURA (Albert), Agrégé préparateur au Collège de France, 18, rue de la Sorbonne.

REDIER, Constructeur, 8, cour des Petites-Écuries.

RÉGNARD, Sous-Directeur du Laboratoire de Physiologie de la Faculté des Sciences, 46, boulevard Saint-Michel.

REISET, Membre de l'Institut, 2, rue de Vigny.

RENARD, Chef de bataillon du Génie, 7, avenue de Trivaux, à Meudon.

REY (Casimir), Professeur de Mathématiques à l'École du Génie, 25, boulevard de la Reine, à Versailles.

REYNIER, Ingénieur électricien, 3, rue Benouville.

RIBAIL (Xavier), Ingénieur de la traction au Chemin de fer de l'Ouest, 50, rue Truffault.

RIBAN (Joseph), Directeur adjoint du Laboratoire d'enseignement chimique et des Hautes Études, 85, rue d'Assas.

RICHARD, Administrateur délégué de la Société générale des Téléphones, 4, rue d'Aboukir.

RICHARD, Ingénieur-Constructeur, 8, impasse Fessart (Belleville).

RICHET (Th.), Professeur agrégé à la Faculté de Médecine, 15, rue de l'Université.

RIGOUT, Préparateur de Chimie à l'École des Mines.

RIVIÈRE, Professeur au Lycée Saint-Louis, 17, rue Gay-Lussac.

ROBIN (P.), Directeur de l'orphelinat Prévost, appartenant au département de la Seine, à Cempuis (Oise).

ROCANDÉ (Olivier R.), Ingénieur des Arts et Manufactures, 65, quai de Seine, à Courbevoie.

RODDE (Ferd.), 7, rue du Delta.

RODDE (Léon), 107, rua do Ouvidor, à Rio-Janeiro (Brésil).

RODOCANACHI (Emmanuel), 8, avenue Hoche.

ROGER (Albert), rue Croix-de-Bussy, à Épernay.

ROGER, ancien Chef d'Institution, 161, rue Saint-Jacques.

ROGNETTA (F.-B.), Ingénieur, 62, via Borgonuovo, à Turin (Italie).

ROIG Y TORRES (Raphaël), Professeur à la Faculté des Sciences de Barcelone (Espagne).

ROISIN (Paul), ancien Élève de l'École Polytechnique, 42, rue des Fourneaux.

ROMILLY (de), 8, rue de Madrid.

ROOSEVELT, Ingénieur, au château de Bray, par Saint-Perret (Ardèche).

ROSENSTIEHL, Chimiste, Directeur de l'usine Poirier, 114, route de Saint-Leu, à Enghien.

ROUBY (Emmanuel), Ingénieur des Arts et Manufactures, 6, rue Sainte-Beuve.

ROUSSEAU, Professeur à l'Université, 20, rue Vauthier, à Ixelles-Bruxelles.

MM.

ROUSSEAU (**Paul**), Fabricant de produits chimiques, 17, rue Soufflot.

ROUSSELET, Professeur au Lycée Charlemagne, 4, rue Guy-de-la-Brosse.

ROUSSELET (l'abbé), 74, rue de Vaugirard.

ROUX (**Gaston**), Préparateur à l'École de Physique et de Chimie industrielles, 51, rue de Dunkerque.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (**Henri**), Ingénieur des Manufactures de l'État, 3, place Péreire.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (**Émile**), Ingénieur à la Compagnie du gaz, 85, avenue de Villiers.

SAINT-LOUP, Doyen de la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand.

SALET, Maître de conférences à la Faculté des Sciences, 120, boulevard Saint-Germain.

SAMBOURG (**Ch.**), Inspecteur Ingénieur des Lignes télégraphiques, 6, rue de la Porte-Maillot.

SANDOZ (**Albert**), Préparateur des Travaux pratiques de Physique à la Faculté de Médecine, 40, rue d'Ulm.

SARCIA (**Gril**), Capitaine d'Artillerie de Marine, 76, rue Rochechouart.

SARRAU, Membre de l'Institut, Ingénieur en chef des Poudres et Salpêtres, professeur de Mécanique à l'École Polytechnique, 11, rue de l'Arsenal.

SAUTTER (**Gaston**), Ingénieur, 26, avenue de Suffren.

SAUVAGE (**Henri**), Contrôleur du service technique des Télégraphes, à Évreux, rue de l'École Normale.

SCHAEFFER, Chimiste, à Dornach, près Mulhouse (Alsace).

SCHNEIDER (**Théodore**), Professeur de Chimie à l'École Monge, 40, rue du Four.

SCHWEDOFF, Professeur à l'Université d'Odessa (Russie).

SCHODDUIJN (l'abbé), Professeur de Sciences, à l'Institution Saint-Joseph, à Gravelines.

SCIAMA, Ingénieur civil des Mines, directeur de la maison Bréguet, 10, rue Sainte-Anne.

SEBERT, Colonel d'Artillerie de Marine, Directeur du laboratoire central de la Marine, 13, rue de la Cerisaie.

SÉGUIN, ancien Recteur, 36, rue de la Bruyère.

SEIGNETTE (**Adrien**), Licencié ès Sciences, 21, rue Tronchet.

SELIGMANN-LUI, Sous-Inspecteur des Télégraphes, 103, rue de Grenelle.

SERRÉ-GUINO, Examinateur à l'École de Saint-Cyr, 36, rue Saint-Placide.

SERRIN (**V.**), Ingénieur, 1, boulevard Saint-Martin.

SIMON, Pharmacien, à la Ferté-Fresnel (Orne).

SIMOUTRE (l'abbé), Professeur de Physique au grand séminaire de Nancy.

SIRE (**G.**), Docteur ès Sciences, Essayeur de la Garantie, à Besançon-Mouillière.

SIRVENT, Professeur au Lycée Saint-Louis, 106, rue de Rennes.

SLOUGUINOFF, Professeur de Physique au cabinet de Physique de l'Université impériale de Kasan (Russie).

SOLIGNAC, Ingénieur-Électricien, 247, rue Saint-Honoré.

SOMZÉE, Ingénieur honoraire des Mines, 117, rue Royale, à Bruxelles (Belgique).

MM.

STAPFER (Daniel), Ingénieur, boulevard de la Mayor, à Marseille.

STREET (Charles), Ingénieur des Arts et Manufactures, 2, rue Lafitte.

STEPANOFF, Professeur de Physique, à Cronstadt (Russie).

STOKES (G.-G.), Professeur de Mathématiques à l'Université de Cambridge. — Lensfield Cottage, Cambridge.

STOLETOW (Al.), Professeur à l'Université de Moscou (Russie).

STRAUSS, Capitaine du Génie, Attaché au Dépôt des fortifications, 8, rue Saint-Dominique.

STRUMBO, Professeur à l'Université d'Athènes (Grèce).

TACCHINI, Astronome, Directeur du Bureau météorologique d'Italie, à Rome.

TEISSERENC DE BORT (Léon), Chef du Service de Météorologie générale au Bureau central météorologique, Secrétaire général de la Société Météorologique de France, 82, avenue Marceau.

TEISSIER, Professeur au Lycée, 5, rue de Lille, à Nice.

TEPLOFF, Colonel du Génie impérial russe, rue Vladimir Kaies, 15, maison Friedrichs, à Saint-Pétersbourg (Russie).

TERQUEM, Membre correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences de Lille.

THENARD (Arnould), 6, place Saint-Sulpice.

THIERCELIN, Ingénieur des Arts et Manufactures, 43, rue Madame.

THIESEN, adjoint au Bureau international des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

THOLLON, à l'Observatoire de Nice (Alpes-Maritimes).

THOMPSON (Silvanus-P.), Professeur à Finsbury Technical College. London street.

THOMSON (Sir William), F. R. S., Professeur à l'Université de Glasgow (Écosse).

THOUVENOT (Clovis), Ingénieur-Électricien, 43, Limmocthstrasse, à Zurich.

THYRION, Professeur au Collège, 201, rue Saint-Merry, à Fontainebleau.

TIMIRIAJEFF, Professeur à l'Université et à l'Académie agronomique de Moscou (Russie).

TISSANDIER (Gaston), Directeur du Journal « *La Nature* », 19, avenue de l'Opéra.

TOMMASI (Donato), Professeur de Chimie, 13, rue Daru.

TOMMASI (Ferdinando), Ingénieur, 13, rue Daru.

TONARELLI, Censeur du Lycée de Périgueux.

TOUANNE (de la), Ingénieur des télégraphes, 13, rue Soufflot.

TRANNIN (Henri), Docteur ès Sciences, ancien Préparateur à la Faculté des Sciences de Lille, à Arras.

TRIPIER (le D^{r}), 41, rue Cambon.

TROTIN, Ingénieur des télégraphes, 34, quai Henri IV.

TROUVÉ (G.), Constructeur d'instruments de précision, 14, rue Vivienne.

TULEU, Ingénieur, 17, rue Visconti.

MM.

UCHARD (A.), Capitaine d'artillerie, 4, rue Maurepas, à Versailles.

VACHER (Paul), 45, rue de Sèvres.

VAGNIEZ BENONI, Négociant, 14, rue Lemerchier, à Amiens.

VALBY, Pharmacien de 1re classe, à Dijon.

VALETTE, Rédacteur au Journal « *Cosmos* », 8, rue François Ier.

VAN AUBEL (Edmond), Membre de la Société de Physique de Berlin, 107, rue de Louvrex, à Liège.

VAN BIERVLIET (Albert), 39, rue des Joyeuses-Entrées, à Louvain.

VANDENBROUCQUE, Professeur à l'Institution libre, à Marcq en Barœul (Nord).

VAN DER MENSBRUGGHE (Gustave-Léonard), Professeur de Physique mathématique à l'Université, 80, rue Coupure, à Gand (Belgique).

VAN DER VLIETH, Professeur de Physique à l'Université de St-Pétersbourg.

VARACHE, Professeur au Collège de Béziers.

VARENNE (de), Préparateur du Laboratoire de physiologie générale au Muséum, 7, rue de Médicis.

VARIN, Professeur au Collège, à Épinal.

VASCHY, Sous-Ingénieur des Télégraphes, Répétiteur à l'École Polytechnique, 68, avenue Bosquet.

VAUCHERET, Colonel d'Artillerie, Directeur de la Section technique de l'Artillerie, 1, place Saint-Thomas d'Aquin.

VAUTIER (Théodore), Chargé des conférences de Physique à la Faculté des Sciences, 30, quai Saint-Antoine, à Lyon.

VERDIN, Constructeur d'instruments pour la Physiologie et la Médecine, 6, rue Rollin.

VIEILLE, Ingénieur des Poudres et Salpêtres, Répétiteur à l'École Polytechnique, 2, boulevard Henri IV.

VILLARS, Maître de conférences à la Faculté et Professeur au Lycée de Montpellier.

VILLIERS (Antoine), Agrégé à l'École de Pharmacie, 30, avenue de l'Observatoire.

VILLY, Préparateur de Physique au Lycée Louis-le-Grand.

VIOLET (Léon), sous-directeur des ateliers Carpentier, 20, rue Delambre.

VIOLLE, Maître de conférences à l'École normale, 89, boulevard Saint-Michel.

VION, Professeur à l'École primaire supérieure d'Amiens.

VLASTO (Ernest), Ingénieur, Administrateur de la Société anonyme de fabrication de produits chimiques, 44, rue des Écoles.

VOIGT, Professeur au Lycée, 30, rue des Gloriettes, à Lyon.

VOISENAT (Jules), Sous-Ingénieur des télégraphes, à Besançon.

WAHA (de), Professeur de Physique à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

WALLON (E.), Professeur au Lycée Janson de Sailly, 65, rue de Prony.

MM.

WARREN DE LA RUE, Correspondant de l'Institut, 73, Portland Place, Londres, W.

WEISS, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Préparateur de Physique à la Faculté de Médecine, 73, boulevard Saint-Michel.

WENDT (Gustave), Constructeur d'instruments de Physique (maison Hempel), 55, quai des Grands-Augustins.

WERLEIN, Constructeur d'instruments d'Optique, 20, rue du Cardinal-Lemoine.

WEST (Émile), Ingénieur-Chimiste au Chemin de fer de l'Ouest, 13, rue Bonaparte.

WEYHER, Ingénieur, Administrateur-Directeur de la Société centrale de Construction de Machines, 36, rue Ampère.

WIEDEMANN (Eilhard), Professeur de Physique à Leipzig (Saxe).

WITZ (Aimé), Ingénieur civil, 104, boulevard Vauban, à Lille.

WOLF, Membre de l'Institut, Astronome à l'Observatoire de Paris, 1, rue des Feuillantines.

WROBLEWSKI (Dr Sigismond de), Professeur de Physique à l'Université de Cracovie (Autriche).

WUNSCHENDORFF, Ingénieur chargé de la construction des lignes souterraines, au Ministère des Postes et des Télégraphes, 97, rue de Rennes.

XAMBEU, 41, Grande-Rue, à Saintes.

YVON, Pharmacien, 7, rue de la Feuillade.

ZAHM (J.-A.), Professeur de Physique à l'Université Notre-Dame (Indiana) (États-Unis).

ZEGERS (Louis-L.), Ingénieur des Mines du Chili, Chacabuco, 57, à Santiago.

ZILOFF, Professeur de Physique à l'Université de Varsovie (Russie).

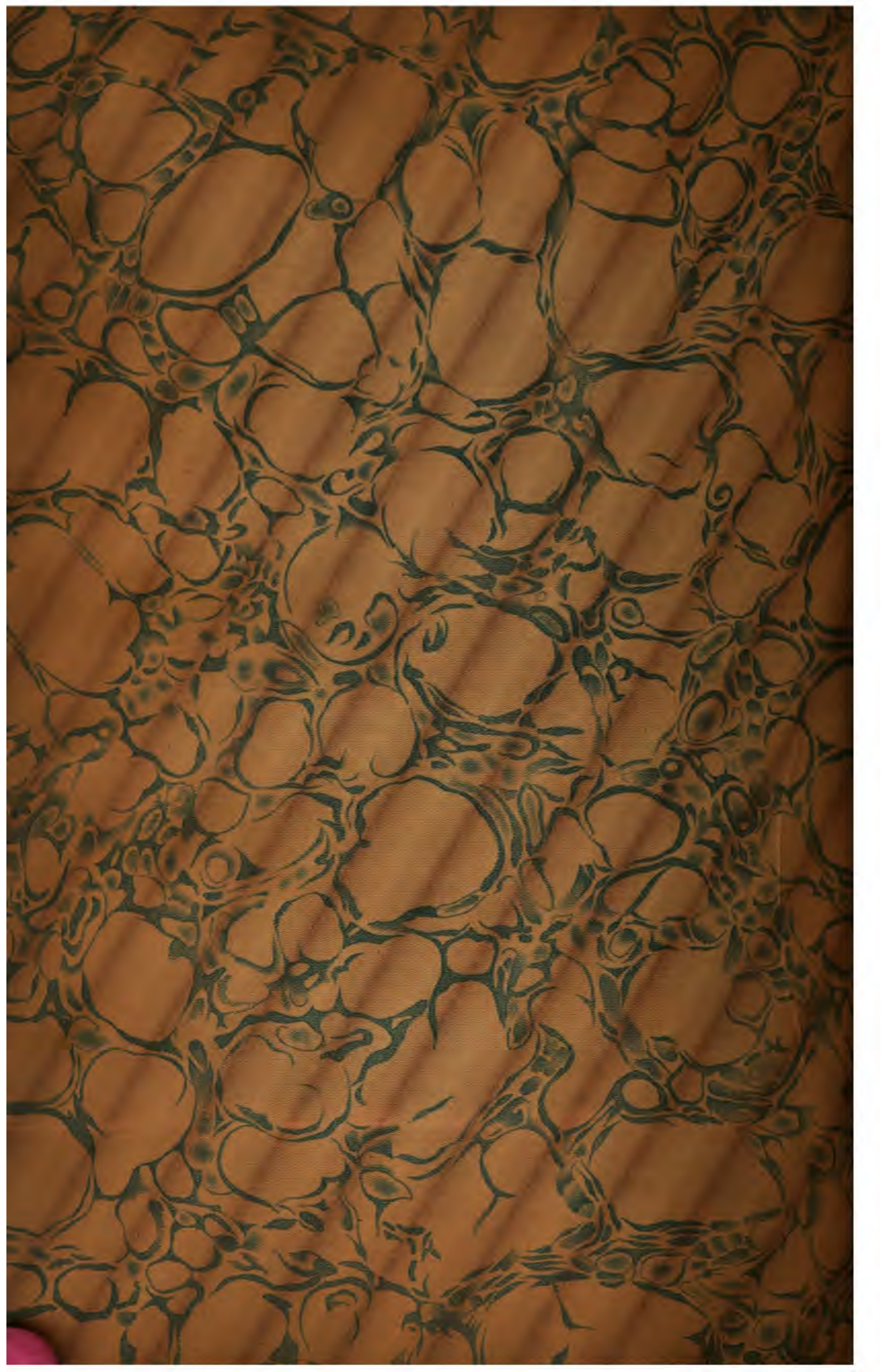
Avril 1887.

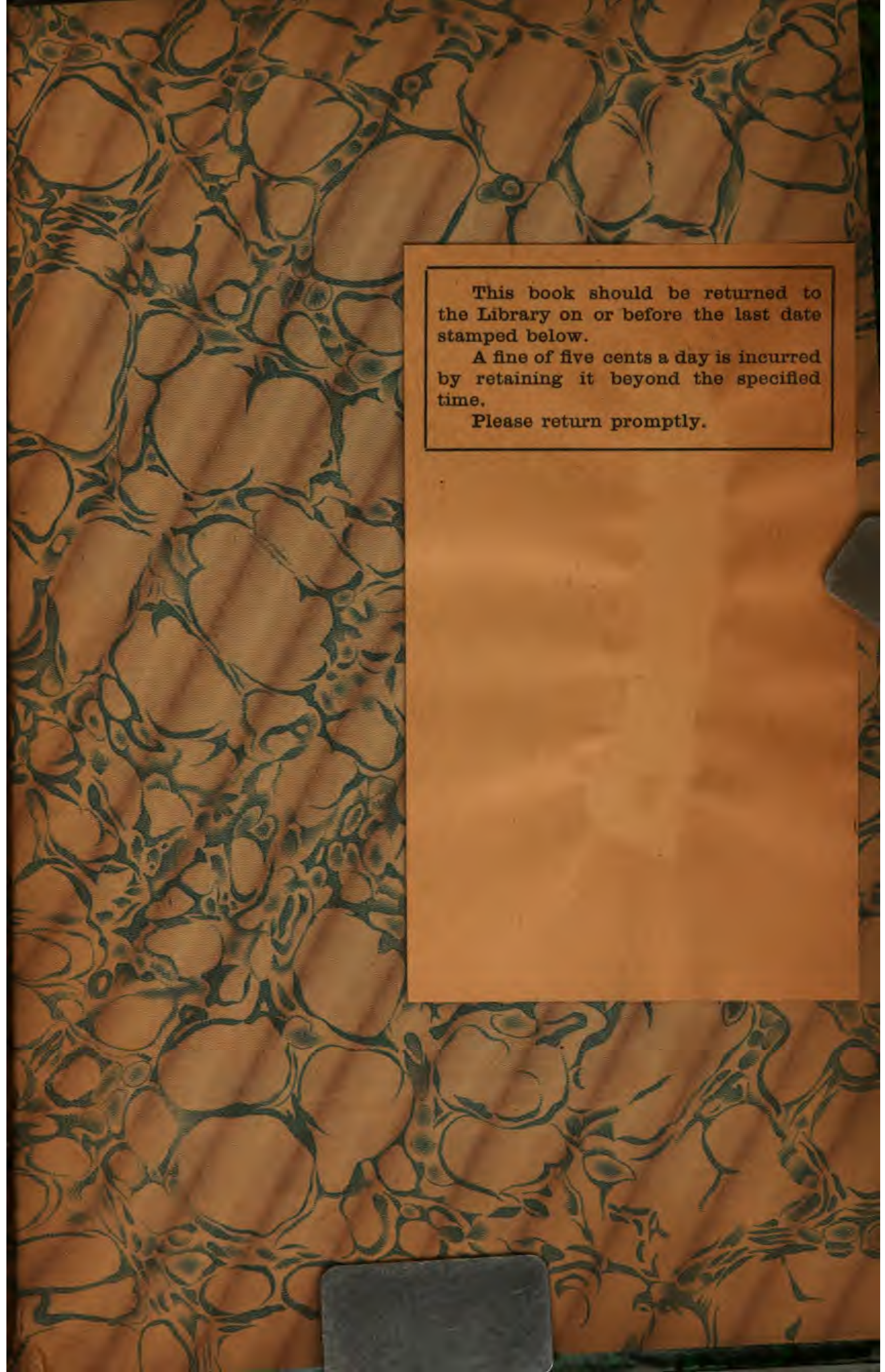
Prière d'adresser au Secrétaire général les rectifications et changements d'adresse.

TABLE DES MATIÈRES.

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

Paris. — Imprimerie de GAUTHIER-VILLARS, quai des Augustins, 55.




This book should be returned to the Library on or before the last date stamped below.

A fine of five cents a day is incurred by retaining it beyond the specified time.

Please return promptly.